

**LA SOTTILE ARTE DELLA
GESTAZIONE MENTALE
LE IDEE DEL PRIMO VENTENNIO DEL
NOVECENTO**



INDICE

Premessa

Avere un'idea: la sottile arte della gestazione mentale

Einstein e la teoria della relatività

Hilbert

La legge di Hardy-Weinberg

La classificazione di Koppen

I modelli atomici

Bergson

Nuove idee per il romanzo

James Joyce

Lo scenario storico: il primo conflitto mondiale

APPENDICE A: La Realtività di Einstein

APPENDICE B: I problemi di Hilbert

APPENDICE C: Genetica di popolazioni

APPENDICE D: La classificazione di Koppen nel dettaglio

APPENDICE E: Come si è giunti al modello atomico odierno

**APPENDICE F: Il riso: il comico secondo Bergson e
l'umorismo di Pirandello**

APPENDICE G: Dubliners-Araby and Ulysses

APPENDICE H: Lo svolgimento della Grande Guerra

PREMESSA

L'argomento centrale della trattazione della tesi è la nascita delle idee. Si è deciso di affrontarla in maniera creativa ed originale, paragonandola alla gestazione umana.

Data l'ampiezza dell'argomento, in quanto innumerevoli le idee avute nel corso della storia, si è deciso di limitare la ricerca e lo studio ai primi vent'anni del Novecento, anni in cui le idee nate furono molte e di notevole portata, nonostante lo scenario storico che sconvolse intere popolazioni e che vide protagonista il Primo Conflitto Mondiale.

La tesi è pertanto un iter che cerca di spiegare come l'uomo formula, o meglio, partorisce, un'idea. Lo sviluppo della trattazione comprenderà due principali blocchi: il primo di carattere prettamente scientifico, il secondo di carattere letterario-filosofico.

Si esporranno, quindi, le principali e più significative (a livello personale) idee avute nei primi anni del XX secolo.

Per quanto riguarda l'ambito scientifico si è scelto di trattare: la Relatività di Einstein, i ventitré problemi di Hilbert, la struttura dell'atomo, l'equazione di Hardy-Weinberg e la classificazione di Koppen.

La nuova concezione del tempo e il pensiero di Bergson, le caratteristiche del romanzo del Novecento e Joyce e i suoi romanzi, sono, invece, gli argomenti trattati nel secondo blocco; con una breve trattazione della Prima Guerra Mondiale.

La struttura della tesi è caratterizzata da una parte continua, nella quale gli argomenti trattati dei vari ambiti sono collegati e descritti in modo sintetico (eccezion fatta per la parte in lingua italiana dedicata alle "innovazioni" del romanzo novecentesco) ma lineare; e da una parte costituita da appendici, nelle quali gli argomenti sono trattati in modo più approfondito.

Per la stesura della tesi, si sono utilizzati libri di testo adottati durante l'anno scolastico, riviste divulgative e non, libri trattanti argomenti specifici, articoli di giornale e siti internet.

AVERE UN' IDEA: LA SOTTILE ARTE DELLA GESTAZIONE MENTALE

Per quanto possa sembrare strano, c'è ancora molta gente che crede alla favoletta delle idee nate sotto i cavoli o piovute giù dal cielo, magari avvolte in un lenzuolo bianco legato intorno al becco di una cicogna proveniente da un paese nordico. Qualcuno, addirittura, è convinto che a mettere al mondo le idee sia il Caso, entità assimilabile per astrattezza allo Spirito Santo della tradizione cristiana, e ricorda, a sostegno di questa tesi, la storiella della mela caduta sulla testa di Newton.

In un campo delicato come questo, riteniamo ci si debba muovere con estremo rigore, senza ingannare nessuno, poiché non c'è nulla d'imponderabile né tanto meno di peccaminoso nel modo in cui adempie il concepimento di un'idea.

D'altra parte, la stessa pedagogia insegna che nascondere la verità sulla nascita delle idee è pericoloso in quanto può causare la formazione di tabù ideologici o semiologici e provocare, in soggetti che da grandi facciano uso di attività artistiche, cattive abitudini come una debilitante pratica solipsistica, manie di grandezza e tendenze schizofreniche.

Per la verità, il mistero che una volta circondava il problema dell'ideazione si è ormai dissolto. Oggi sappiamo che un'idea nuova scaturisce dall'accoppiamento di due idee fisiologicamente diverse. La

dinamica di questo coito idealistico è molto semplice: l'idea-femmina viene fecondata da un'idea-maschio attraverso gli organi preposti alla riproduzione delle idee, scientificamente chiamati *artificium* (abilità artistica) e *portentum* (invenzione fantastica). È dal concorso e dall'interazione naturale di entrambi questi organi che si realizza il processo creativo: il gamete dell'idea-maschio incontra quello dell'idea-femmina; essi si fondono insieme e danno vita, dopo un periodo più o meno lungo di gestazione, a una nuova idea.

È necessario aggiungere che, di fronte a fenomeni di sterilità inventiva, per altro sempre più diffusi in epoca recente, la fecondazione delle idee può avvenire anche in provetta. In questo caso, che richiede una tecnica di elaborazione molto sofisticata, si avrà la nascita di un'idea comunemente definita sperimentale.

Se poi non si vuole ricorrere all'inseminazione artificiale, si potrà scegliere un'altra strada: l'adozione di un'idea già esistente, visto che le idee sconosciute e/o abbandonate in tenera età sono in continuo aumento.

Purtroppo bisogna dire che il mercato delle idee non sempre ha una struttura limpida come si crede. Un alto numero di idee viene, infatti, creato su commissione, al solo scopo di essere venduto a soggetti infelici che non possono averne. Il commercio clandestino delle idee rappresenta la piaga più aberrante della nostra società artistico-letteraria, insieme a quella, altrettanto crudele e dannosa, del plagio.

Dal punto di vista statistico c'è poi da registrare un notevole incremento delle idee abortite, o come si dice delle interruzioni volontarie del normale svolgimento di un'idea. Oggi poi, in conseguenza della disgregazione del nucleo della famiglia ideale, assistiamo al preoccupante fenomeno della crisi demografica delle idee nuove. Malgrado ciò, pensiamo sia ancora valida la proposta di effettuare un controllo scrupoloso sulle nascite delle idee, così da evitare la sovrappopolazione di quelle banali e scongiurare nel lungo periodo l'indebolimento della specie in seguito alla diffusione di idee vaghe e pallide dal punto di vista organico oltre che fragili per contenuto. Naturalmente occorrerà studiare bene le modalità d'attuazione di questo controllo affinché non si trasformi in un escamotage per riaffermare anacronistiche dominanze culturali o serva da velata copertura allo sfruttamento libresco, non ancora estirpato, delle idee cosiddette «deboli» da parte di quelle «forti».

Il vero problema sul piano strettamente sanitario-linguistico resta tuttavia, quello di una lotta a fondo contro i pericoli di un'esagerata *idealizzazione* dell'agire comunicante. Prima di concepire un'idea nuova, è sempre consigliabile che il tessuto storico-culturale dell'idea-madre e quello dell'idea-padre siano sottoposti ad un esame clinico attento in modo da scongiurare, o quanto meno limitare, la nascita di idee decisamente brutte, deliranti, insostenibili, superficiali...

Purtroppo la casistica degli ultimi anni è piena di simili malformazioni nelle idee appena nate.

Un'azione preventiva contro la piaga delle malattie delle *idee infantili* costituisce un'efficace terapia per migliorare l'aspetto qualitativo del corpo delle idee e per mantenere ad un ritmo ragionevole la loro crescita smisurata.

Sebbene favorevoli alla più ampia libertà di progettazione e di circolazione delle idee, crediamo sia giusto mettere in guardia i futuri ideatori contro l'abuso di sostanze che potrebbero danneggiare in modo irreparabile l'embrione dell'idea nascente come, ad esempio, la fumosità, l'assuefazione alle mode, il parassitismo linguistico, l'eccessivo ricorso a soluzioni tranquillizzanti e a prolungate cure di seriosità.

Avere una buona idea, dicono, è un po' come avere un figlio. E' un processo che ha bisogno di un "seme" per iniziare. Ha bisogno di crescere in un "utero" che lo conservi al sicuro, lontra e sia

inaccessibile. La madre ospita il figlio e gli fornisce le condizioni adatte alla crescita, ma non è lei a produrre ciò che verrà fuori.

Si “ha”, non si “produce” il bambino, e altrettanto vale per l’insight e l’ispirazione.

La gestazione ha la propria tabella di marcia: sia psicologicamente, sia biologicamente è il processo meno accelerato che esista. E non si può controllare: una volta che è stato avviato si svolge da solo e, salvo gravi incidenti o interventi, viene portato a termine.

La personalità e l’ambiente fisico ed emozionale della madre influenzano la natura e la qualità del sacrario in cui cresce la nuova forma di vita. Lo stesso discorso sembra valere per l’intuizione: ci sono condizioni che rendono “l’utero mentale” più o meno accogliente per la nascita e lo sviluppo delle idee, e ci sono modi e misure diversi in cui persone diverse riescono, volontariamente o involontariamente, a produrre le condizioni che favoriscono quella nascita e quello sviluppo.

Innanzitutto occorre trovare il “seme” e per trovarlo il creatore dovrà essere curioso, aperto a tutte le cose nuove o strane. Bisogna lasciarsi “impegnare”. Se non siamo stimolati da un particolare che rifiuta con ostinazione di adattarsi ai modelli convenzionali o da un commento casuale nel quale cogliamo echi di nostre idee o sensazioni inspiegati, il processo creativo non avrà materiale sul quale lavorare.

Per gli scienziati lo stimolo è spesso rappresentato da un particolare da un’incongruenza inspiegati. Sotto il profilo immaginativo, il seme germogliato nella teoria della Relatività di Einstein era il tentativo che lo scienziato fece nell’adolescenza di figurarsi come sarebbe stato cavalcare un raggio di luce.

Pare che i semi si impiantino solo in chi a livello inconscio è già preparato a riceverli. Anche quando la verità da cogliere è teorica anziché artistica, riconoscerla ha connotazioni personali, affettive, persino estetiche.

Il seme, dunque, non germoglia se non entra in contatto col “giusto corpo di conoscenze” nella giusta condizione mentale.

Ma quando si può dire che questo “utero” sia giusto?

Dalle prove raccolte da autorevoli psicologi risulta che il corpo preesistente di conoscenze è fecondo soprattutto quando è carico di stimolanti esperienze, ma non così carico da diventare troppo familiare al soggetto e da assumere, quindi, connotazioni fisse ed automatiche. Bisogna avere prove a cui attingere, e sapere abbastanza cose da poter riconoscere una buona idea quando questa viene in mente. Non si può essere creativi in vacuo, ma se si è troppo immersi nel problema, i binari del pensiero diventano così usurati che non permettono alle nuove percezioni di emergere e alle diverse correnti di idee di mescolarsi.

In genere le ricerche sugli individui creativi evidenziano un rapporto a U rovesciata tra creatività ed età. Nel campo della matematica e delle scienze fisiche, per esempio, la massima creatività si registra fra i venticinque ed i trentacinque anni.

L’intuizione tende a lavorare meglio in situazioni complesse o nebulose, situazioni in cui i dati disponibili possono essere approssimativi o incompleti e in cui può compiere un progresso solo chi è in grado di andare oltre l’informazione esistente e di attingere alle proprie conoscenze per maturare intuizioni ed ipotesi fruttuose.

Spesso sia i romanzieri, sia gli scienziati cercano di raccogliere più dati, ma l’idea creativa nasce quando si portano a stretto contatto i dati e l’esperienza che rappresentano la specifica del problema, cioè quando si lascia che le informazioni correnti e l’esperienza passata convergano nella

maniera più intima e flessibile e trasmettano la più ricca gamma di significati e potenzialità. Il vero intuitivo è la persona pronta, disposta d'atto a trarre molto da poco.

Se si pretende di avere informazioni eccellenti da fonti impeccabili prima di formulare un giudizio, si ridurranno le probabilità di avere chiaramente torto, ma si commetteranno errori di omissione sovente meno visibili. Adottando un atteggiamento così conservatore, si tenderà a non usare le risposte più incerte ed solistiche autorizzate dall'inconscio. Se invece si è indiscriminatamente intuitivi, si finirà per dare retta ad impressioni dettate da fronti troppo deboli e mutevoli.

Per quanto riguarda l'intuizione, quindi, l'importante è rapportarsi all'inconscio in maniera che entrambi i tipi di errore siano ridotti al minimo, e che si sia pronti ad udire e riconoscere i suggerimenti della sottomenta senza però considerarli con troppa deferenza o mancanza di discernimento.

Il primo ventennio del Novecento fu un terreno molto fertile per la nascita di nuove e stravolgenti idee sia in campo scientifico sia in campo letterario, ma in particolare nel primo.

Basti pensare alla teoria della Relatività di Einstein, alle idee riguardo la struttura dell'atomo, ai quesiti posti e in parte risolti da grandi matematici, ai modi per rendere più semplice la classificazione dei climi terrestri o alle equazioni per lo studio delle popolazioni; senza dimenticare le grandi rivoluzioni nella concezione del tempo e della durata in ambito filosofico che influenzarono e rinnovarono il modo di concepire e scrivere il romanzo.

Sotto il profilo della nascita delle idee il primo ventennio del Novecento è stato, dunque, un periodo molto fiorente, nonostante lo sfondo storico vide protagonista il primo conflitto mondiale.

EINSTEIN E LA TEORIA DELLA RELATIVITA'

Il XX secolo è stato ricco di notevoli eventi e di veri e propri sconvolgimenti che finirono per cambiare radicalmente il mondo. Anche la scienza ha subito una notevole evoluzione sia in ambito militare, che dal punto di vista prettamente scientifico.

Questo è il secolo delle nuove armi, della bomba atomica, ma è anche il secolo delle più grandi scoperte delle leggi della fisica che sono alla base di tutta la civiltà moderna.

Una delle più grandi intuizioni della fisica fu la formulazione della teoria della relatività del celebre fisico tedesco Albert Einstein il quale, nel 1907, intuì l'inesistenza del tempo assoluto della fisica classica, sostenendo che esso è "relativo" e dipende dallo stato di moto del sistema che si considera rispetto all'osservatore. Da questo egli intuì che se l'orologio si muove molto velocemente, il tempo misurato da esso risulterà fluire più lentamente rispetto a quello misurato dall'orologio che l'osservatore tiene con sé. Anche se questo fatto può sembrare paradossale è stato provato scientificamente con particelle subatomiche che possono essere accelerate a velocità molto prossime a quella della luce (300.000 km/s) dimostrando l'eccezionalità dell'intuizione di Einstein.

Quando si dice che l'abito non fa il monaco. Albertino (ancora non era nessuno) Einstein era uno studente brillante, ma non troppo geniale. I suoi voti erano medio alti, nulla di straordinario. Iperattivo e confusionista ha percorso la sua carriera scolastica continuamente in contrasto con professori ed insegnanti.

La persona che ha stravolto il modo di concepire lo spazio ed il tempo, maturò la sua intuizione su una scrivania all'ufficio brevetti di Berna. In un momento di tranquillità, quando gli amori sembravano a posto ed economicamente riusciva ad avere un minimo di sicurezza (lo stipendio che prendeva era irrisorio e lo arrotondava con ripetizioni di fisica e matematica), ad Albertino ritornò

nella mente un dubbio che lo tormentava da molti anni, e che aveva coltivato nei suoi studi accademici. Un dubbio che ha costruito il mito Albert Einstein che conosciamo oggi.

Anni prima Maxwell postulò una teoria che enunciava la proprietà della luce : *la velocità della luce è sempre la stessa, a prescindere da come viene misurata*. Albertino si chiedeva come poteva essere possibile tutto ciò, considerando che a quel tempo il mondo era ancora dominato dalle leggi di Newton, e dove era sempre possibile raggiungere un oggetto in accelerazione. Facciamo un esempio: immaginiamo un gatto che insegue un topo. Se il gatto corre sufficientemente veloce sarà sicuramente in grado di raggiungere il topo che gli fugge davanti.

Sostituendo il topo con un raggio di luce e mettendo un testimone ad osservare la scena, quest'ultimo dichiarerà che il gatto sta alle costole del raggio, viaggiando quindi ad una velocità prossima a quella della luce. Se il gatto potesse parlare, interrogandolo, ci darebbe una risposta stravagante. Ci direbbe di non essere riuscito ad tallonare il raggio di luce, come il testimone sosterrebbe, ma per quanto c'è l'abbia messa tutta, il raggio schizzava in avanti e lo distaccava sempre alla stessa velocità. Sosterrebbe inoltre di non essere neppure riuscito ad accorciare la distanza iniziale, ma che anzi il raggio si allontanava come se lui fosse stato immobile invece che in una corsa lanciata.

Se insistiamo a dire di aver visto il gatto impegnato in un testa a testa con il raggio di luce, e stava quasi per acciuffarlo, ci risponderà che non è affatto vero, e che anzi, non si è neppure avvicinato. Proprio questo paradosso era incomprensibile per Einstein : se la velocità della luce è costante di natura, come poteva il gatto dichiarare di non essersi neppure avvicinato al raggio di luce, mentre il testimone dichiarava che erano quasi testa a testa? L'incipit della teoria della relatività ristretta nasce proprio in questo paradosso che frullava da anni in testa ad Einstein. Come è possibile che due persone vedessero lo stesso evento in maniera così diametralmente opposta?

Una sera, mentre i pensieri lo tormentavano, lo assalì un'immagine. Una delle tante immagini che Einstein usava per materializzare e per rendere comprensibili le sue intuizioni e le leggi della fisica in generale. Ricordò di essersi trovato a bordo di un tram a Berna, e di aver visto la famosa torre dell'orologio che dominava la città. E immaginò cosa sarebbe successo se quel tram fosse schizzato via, allontanandosi dall'orologio alla velocità della luce. Si rese subito conto che l'orologio gli sarebbe apparso fermo, perché la luce non avrebbe raggiunto il tram, e che il suo orologio da polso sarebbe continuato a ticchettare normalmente.

Einstein aveva compreso la contraddizione tra la fisica newtoniana (in cui la velocità si può sommare e sottrarre) ed il mondo di Maxwell (in cui la velocità è costante). Ma con la sua intuizione risolse questo dilemma, la soluzione era, ritornando al nostro esempio, che per il gatto il tempo rallenta. Immaginiamo un inseguimento tra due auto. La stessa condizione del gatto e del topo. L'auto dei rapinatori sfreccia davanti all'auto della polizia che la insegue, con il solito spettatore che osserva. Sostituiamo l'auto dei rapinatori con il nostro raggio di luce. Se l'osservatore a terra potesse guardare l'orologio dei poliziotti lo vedrebbe fermo, con i volti cristallizzati ed immobili. Interrogando i poliziotti quindi ci riferirebbero di aver visto il raggio schizzare e scopriremo che aveva percepito il raggio di luce che gli sfuggiva solo perché il suo orologio e la sua mente...andavano molto più piano.

Il tempo può scorrere ad un andamento diverso nell'universo, a seconda della velocità con cui si muove. Dopo tanti anni risolse il dubbio che lo affliggeva: "La soluzione mi apparve all'improvviso, pensando che i nostri concetti e le nostre leggi sullo spazio e sul tempo possono rivendicare una validità solo nella misura in cui si trovano in chiara relazione con la nostra esperienza".

Tutto è relativo. Dipende dal sistema di riferimento.

HILBERT

Cosa ci riserva il futuro?**Come prefigurarsi ciò che accadrà domani, fra un anno o più in là?**

Queste sono domande connaturate all'uomo pensante, qualunque sia l'attività che lo impegna.

Ed è con questi quesiti che David Hilbert aprì la sua conferenza "Mathematische Probleme" al secondo congresso internazionale dei matematici a Parigi.

Era il 1900: un anno che chiudeva un secolo, a ragione ritenuto aureo per la grande messe di risultati matematici prodotti, ed era l'inizio di un altro le cui aspettative si prefiguravano non meno lusinghiere.

"Chi di noi - iniziò Hilbert - non vorrebbe sollevare il velo sotto cui sta nascosto il futuro, per gettare uno sguardo sui prossimi progressi della nostra scienza e sui segreti del suo sviluppo durante i secoli venturi? Quali saranno gli speciali obiettivi a cui mireranno le più insigni menti matematiche delle generazioni future? Quali nuovi metodi e quali nuovi risultati scopriranno i nuovi secoli, nell'ampio e ricco campo del pensiero umano?".

A meno di essere dei chiaroveggenti, come fare per vedere nel futuro, quale metodo o calcolo applicare?

L'idea di Hilbert ancora oggi è molto valida proprio perchè pratica e razionale: "Se vogliamo immaginarci lo sviluppo presumibile della conoscenza matematica nel prossimo futuro, dobbiamo far passare davanti alla nostra mente le questioni aperte e dobbiamo considerare i problemi che sono posti dalla scienza attuale e la cui soluzione attendiamo dal futuro. Questi giorni, che stanno a cavallo tra due secoli, mi sembrano ben adatti per una rassegna dei problemi".

Si trattava in definitiva di fare il punto della situazione, una completa ricognizione dell'esistente e su questa si sarebbe potuto prevedere ed innestare un programma di attività e di ricerca.

L'idea come è stato detto conserva una sua validità e per molti esperti risulta particolarmente eccitante.

Il logico e matematico Hao Wang ad esempio, ha scritto:

"Se un gruppo di persone sufficientemente rappresentativo compilasse una lista di venti o trenta problemi oggi al centro dell'attenzione, si potrebbe adoperarla come base per:

- 1) raffigurare lo stato attuale della matematica e le relazioni di questa disciplina con le altre scienze;
- 2) riesaminare la storia;
- 3) prevedere le tendenze future;
- 4) individuare un qualche tipo di unità concettuale nel complesso della matematica;
- 5) discutere alcune delle eterne questioni epistemologiche.

Hilbert operò dunque la sua rassegna di problemi e la lista che ne propose rimane, fino ad ora, un fatto unico, irripetuto e chissà quando e se ripetibile.

La rassegna di Hilbert

I problemi che compongono la rassegna di Hilbert sono 23, e non tutti egli riuscì ad esporre la mattina di quel Mercoledì 8 agosto.

Possiamo suddividerli in tre gruppi.

Il primo gruppo, i problemi da 1 a 6, sono di natura fondazionale.

Il primo di essi, come è noto, riguarda la ipotesi del continuo; il secondo la non contraddittorietà dell'aritmetica.

(Tra le poche osservazioni dei congressisti alla relazione di Hilbert, una riguardava questo secondo problema e fu avanzata da G. Peano il quale obiettò che a parer suo il sistema con le proprietà volute era già stato formulato dai suoi compatrioti Burali-Forti, Padoa e Pieri. Peano dichiarò anche che la relazione di Padoa che sarebbe stata presentata al congresso : “Un nuovo sistema di postulati irriducibili per l'algebra” avrebbe risposto al problema.

Il terzo e il quarto problema sono di natura geometrica, il quinto è incentrato sul concetto di S.Lie dei gruppi continui di trasformazione, il sesto riguarda la trattazione matematica degli assiomi della fisica e la fondazione assiomatica della probabilità.

Il secondo gruppo di problemi dal 7 al 14, è di natura aritmetica e algebrica. Tra questi i più noti sono il 7 - sulla irrazionalità e trascendenza di alcuni numeri -, l'8 -sui numeri primi e l'ipotesi di Riemann - e il decimo sulla risolubilità di equazioni diofantine.

Il problema 15 riguarda la fondazione rigorosa del calcolo della numerazione di Schubert e l'ultimo gruppo dal 16 al 23 sostanzialmente la topologia e l'analisi.

Si differenzia forse il 18, insieme al 3 e 4, tra i pochi problemi di natura prettamente geometrica e di cui si è recentemente occupata la stampa. Riguarda, questo problema, la distribuzione delle sfere nello spazio.

I problemi 19, 20 e 23 riguardano il calcolo delle variazioni alle cui questioni Hilbert assegnava una grande importanza prevedendone anche una marcata influenza nel successivo sviluppo della ricerca matematica. E così è stato.

Un commento merita pure il problema 22 sulla uniformizzazione di relazioni analitiche mediante funzioni automorfe.

La classica teoria della uniformizzazione, sviluppata principalmente nelle ultime due decadi del XIX secolo e la prima decade del XX secolo, consisteva nel dimostrare che ogni curva, algebrica o analitica, può essere uniformizzata, cioè rappresentata parametricamente da funzioni ad un sol valore o uniformi.

La storia della teoria è affascinante prima di tutto per la ricchezza di idee matematiche che ne sono sorte: la dimensione topologica, il ricoprimento dello spazio, le applicazioni conformi e quasi conformi, ecc.

Ma ugualmente affascinante è l'aspetto umano: Schotcky, ad esempio pervenne a congetturare un teorema di uniformizzazione abbastanza generale ma rinunciò ad andare avanti nel suo lavoro per il giudizio non incoraggiante dell'autorevole K.Weierstrass e similmente avvenne per il giovane Poincarè per l'avversione questa volta di F. Klein che per quanto fosse di poco più anziano era già allora all'apice della notorietà e del peso scientifico.

Hilbert ebbe il merito di richiamare l'attenzione verso il problema e fu lo stesso Poincarè, un quarto di secolo dopo il suo primo interesse per la teoria, a risolvere pienamente il problema nella forma posta da Hilbert dividendone però il merito con Koebe.

L'importanza espositiva e didattica

La lista di Hilbert riscontrò un consenso unanime ed enorme fu la sua incidenza: i suoi problemi giocarono il ruolo di grandi problemi, di veri e propri punti di riferimento o mete alle quali il lavoro dei matematici doveva tendere e mirare. Aprivano dei tracciati e ne illuminavano i percorsi ed è indubbio che ciò giovò alla ricerca scientifica, ad indirizzare i giovani matematici ed anche a rinnovare corsi universitari e con questi anche l'insegnamento della matematica nelle scuole ne

trasse grossi benefici. Di lì a poco molti dei problemi di Hilbert cominciarono ad avere una risposta e i percorsi di ricerca prima illuminati dettero luogo ad itinerari didattici, universitari e secondari, accettati ed universalmente seguiti. Dal punto di vista espositivo e didattico, si trattò di un avvenimento eccezionale che comportò una precisa organizzazione e sistemazione della

matematica anche se questa veniva compiuta in riferimento ai punti terminali cioè ai problemi da risolvere e ai nodi da sciogliere - un analogo di ben definiti e precisati obiettivi educativi e didattici - e non già ai punti di partenza, che pure furono il fondamento delle ricerche di Hilbert e del suo programma formalista. Furono questi ultimi d'altronde a richiamare molta dell'attenzione del gruppo Bourbaki (per molti versi e a ragione ritenuto continuatore del programma hilbertiano) costituitosi in Francia negli anni 1934/35 nell'intento di costruire non una ma la sistemazione delle matematiche. Anche Bourbaki ha finito per avere una enorme influenza sul piano dell'educazione matematica sospinto e collaborato dalle ricerche psicologiche di J.Piaget che, in accordo e parallelamente a Bourbaki, vedeva alla base dello sviluppo psicologico del fanciullo le stesse strutture che Bourbaki aveva chiamato "strutture madri" e posto a fondamento della matematica. Nel loro influsso sulla didattica, Hilbert e Bourbaki-Piaget sono per certi versi complementari: mentre il primo stabilisce le "mete" (che una volta raggiunte scoprono nuovi panorami) che tracciano e illuminano il percorso più adeguato, l'itinerario migliore per arrivarci, il secondo suppone che esistano "punti" da cui tutto ciò che è noto si offre al panorama.

Per quanto riguarda gli effetti, Hilbert ha stabilito un ordine e un itinerario didattico standard, Bourbaki-Piaget ha prodotto una grossa perturbazione in quest'ordine.

Oggi la situazione appare decisamente diversa ed in particolare priva di punti di riferimento.

Non v'è più una teoria degli insiemi ma v'è l'informatica, ed è qualcosa di diverso; non vi sono particolari e nuovi argomenti o capitoli di cui si raccomanda l'importanza e l'inserimento nei programmi ufficiali di studio ma piuttosto e più semplicemente l'esigenza di una maggiore speditezza e significatività nella presentazione della matematica. Il discorso da interno alla disciplina e sostanzialmente di grossa perturbazione dei curricoli standard o canonici è divenuto più generale, tecnologico e di costume, con particolare attenzione alla sistemazione e alla organizzazione dei concetti e delle procedure ed anche le discussioni sulle geometrie sono mutate: il globalismo del programma di Klein sembra aver lasciato il posto ad una più generale distinzione tra geometria della natura e geometria euclidea che acquista sempre più il carattere, per dirla con Monod, di una geometria teleonomica cioè rispondente ad un progetto, un progetto intellettuale dell'uomo quindi un artefatto cioè etimologicamente un prodotto dell'arte dell'uomo.

I problemi generali

Tornando ad Hilbert.

A conclusione del suo articolo, Hilbert asserisce che i problemi da lui menzionati "sono solo campioni di problemi; ma sono sufficienti a far vedere quanto sia ricca, quanto sia varia, quanto sia estesa oggi la scienza matematica".

Questa constatazione, questo stato di fatto - alla data del 1900 - lo spinge a sollevare due domande che costituiscono esse stesse due grandi problemi di carattere generale che si può azzardare di chiamare problemi 24 e 25 di Hilbert.

Si chiede Hilbert:

24) non è imminente per la matematica ciò che da tempo è già accaduto per le altre scienze, cioè di dividersi in singole sottosciende i cui esponenti difficilmente si comprendono ancora tra di loro e le cui connessioni perciò si allentano sempre più?

25) con l'estendersi della scienza matematica non diverrà alla fine impossibile per il singolo ricercatore comprendere tutte le parti?

Quanto sia varia e quanto sia ricca oggi la matematica è certamente lecito chiederselo e alle domande di Hilbert è probabile che non si possa rispondere con il medesimo suo ottimismo con la medesima sua fede sulla risolubilità di ogni problema, sulla inesistenza di un qualsiasi ignorabimus, sulla unità della matematica, quasi una realtà ontologica.

L'analisi è possibile proprio esaminando i tentativi fatti di ripetibilità del lavoro di Hilbert.

La ripetibilità della rassegna

Ci si è interrogati spesso sulla ripetibilità della rassegna operata da Hilbert e abbiamo già riferito di H. Wang. Ma gli esempi sono molteplici. Recentemente J. Ewing, in occasione di uno dei congressi matematici, ha ripreso la questione esprimendo l'augurio che un matematico o un equipe di matematici ritentasse di realizzare ciò che al merito del solo Hilbert si può finora ascrivere. Ma l'idea di utilizzare la lista di Hilbert quale base per valutare i progressi compiuti dalla matematica nell'arco di più decenni è stata spesso riproposta e a John von Neumann fu esplicitamente chiesto di fornire una lista aggiornata al 1954. Von Neumann, però, declinò l'invito dichiarandosi "incapace di spaziare in un così vasto campo".

Vent'anni dopo, nel maggio del 1974, l'American Mathematical Society organizzò uno speciale simposio con lo scopo di valutare gli sviluppi e le conseguenze di ognuno dei ventitre problemi posti da Hilbert e allo stesso tempo anche con l'obiettivo di stilare un elenco dei problemi attuali e la consapevolezza della difficoltà dell'operazione è insita nel fatto che per renderla più possibile si restrinse il campo a quei problemi che avessero un legame con i problemi di Hilbert una sorta di filiazione diretta o anche riflessa.

Il lavoro preparatorio di quest'ultimo impegno fu iniziato da J. Dieudonné e portato a compimento da F.E. Browder attraverso una fittissima corrispondenza con matematici impegnati nei diversi campi di ricerca ed in ogni parte del mondo.

E' certamente un lavoro molto impegnativo e per quanto condensato in poche pagine, enorme. Il gran numero di matematici impegnati, la loro competenza specifica, le modalità stesse di listare i problemi per settori testimoniano di quanto sia varia e ricca oggi la matematica tanto da non stare più nella mente di una sola persona.

Il prodotto di questo lavoro è una lista di circa 130 problemi suddivisi in 27 branche o aree della matematica e frutto delle risposte di una trentina di specialisti. Frutto del lavoro dunque di più intelletti e non la sintesi elaborata da una mente sola come fu per il lavoro di Hilbert.

E' dunque necessario riferirsi a problemi più generali e tra questi appare essenziale oggi il problema della comunicazione. E' lo stesso Wang che inserisce tra i problemi generali che la matematica si trova ad affrontare quello della comunicazione. Esposizione, inserimento, meccanizzazione della matematica - egli dice - sono tra i problemi fondamentali che la matematica si trova ad affrontare. Problemi di comunicazione piuttosto che di ottenimento di nuovi frammenti di matematica. Costituzione ancora di una critica matematica come analogo della critica letteraria. Questo della comunicazione è un problema molto avvertito e discende anche ed è in accordo alle conclusioni alle quali sono pervenuti molti studiosi di intelligenza artificiale. Il principio enunciato da S. Papert ad esempio, secondo il quale nuovi stadi della conoscenza si raggiungono sfruttando ciò che già si sa o le risultanze del lavoro di M.Minsky per il quale dobbiamo trovare nuove forme di gestione ed amministrazione delle cose note.

L'accordo, cioè, stabilito alcuni decenni fa, tra ricerca matematica e ricerca psico-pedagogica ha trovato oggi un suo rinnovamento per il concorso anche delle indagini e degli studi di intelligenza artificiale.

Oggi si è sostanzialmente d'accordo sul fatto che non basta e non è sufficiente imparare molte cose; occorre, è necessario anche gestire ciò che si impara.

Così tutti gli insegnanti nella loro esperienza sanno di aver compreso perfettamente una cosa nell'atto di spiegarlo a qualcun altro. Esposizione, critica, valutazione sono attività per cervelli mediocri scriveva sul finire della sua carriera, intensamente creativa, il grande G. Hardy; oggi, di contro per il fisico e cosmologo S. Hawking, la spiegazione è il fine ultimo della scienza.

Organizzazione del sapere e spiegazione si presentano cioè come ineludibili problemi attuali non solo della matematica ma dell'intera scienza.

Si colloca qui dunque e si chiarifica il problema dell'insegnamento. Il problema di come insegnare la matematica è più che altro il problema di come ricreare la conoscenza matematica, il sapere matematico e questo intimamente connesso al problema più generale di un impegno collettivo di comunicazione, esposizione, organizzazione. Questo concetto ha origini antiche e si è più volte ripresentato nella storia. Un esempio lo troviamo nelle pagine di uno dei nostri più grandi poeti e prosatori, in G. Leopardi. In una delle sue Operette Morali, il Parini ovvero della Gloria, scrive che ordinariamente si crede che il progresso del sapere dipende dai grossi geni. Certamente il sapere deve molto a questi; ma, contrariamente a ciò che si ritiene, il suo progresso deve meno ai grandi ingegni e molto di più agli ingegni ordinari o anche mediocri i quali riflettendo sulle nuove idee, sui risultati ottenuti dalle grandi menti pian piano li rendono intelligibili a sé e a un più vasto pubblico. E' in ciò che consiste il progresso del sapere ed è così che esso si realizza perché un nuovo risultato è tale e quando è capito quando è compreso nel suo perché e nel suo significato e, cosa più importante, quando possibile, conmetterlo legarlo ad altri risultati.

Sarà così possibile rendere la matematica meno esoterica anche perché il lamento sull'esoterismo della matematica è una tradizione e un abito che occorre smettere.

Il problema dell'insegnamento è dunque il problema fondamentale della matematica, un problema che può giovare anzi è essenziale per lo stesso significato della matematica e per la sua crescita.

Il movimento noto sotto il nome di "movimento per il rinnovamento dell'insegnamento della matematica" fa ormai parte di una letteratura consolidata e passata.

In definitiva questo movimento c'è stato; è un dato di fatto. Non ha interessato solo la scuola ma il sapere e la cultura, i mezzi di comunicazione e i sistemi educativi in generale. Non è durato poco ma, almeno in Italia, se ne è discusso per quasi due decenni e chi vi ha partecipato ha vissuto dell'entusiasmo e dell'ansia innovativa degli anni sessanta e settanta. Si è trattato certo di un momento di eccitazione globale, di un periodo eroico che ha investito e pervaso il mondo dell'insegnamento della matematica. Oggi pure si discute di rinnovamento ma in forma diversa, come è pure giusto che sia. Non v'è più una teoria degli insiemi ma v'è l'informatica, ed è qualcosa di diverso; non vi sono particolari e nuovi argomenti o capitoli di cui si raccomanda l'importanza e l'inserimento nei programmi ufficiali di studio ma piuttosto e più semplicemente l'esigenza di una maggiore speditezza e significatività nella presentazione della matematica. Come prodotto di quel movimento, etichettato della matematica moderna v'è certo, nell'impostazione generale dei processi di riforma attuati in questi anni in Italia, il riconoscimento della centralità didattica della lingua e della matematica. L'augurio è che questa centralità possa essere conservata e rafforzata anche in riferimento agli stimoli provenienti da una nuova matematica moderna.

LA LEGGE DI HARDY - WEINBERG

Nel 1908 G. H. Hardy e W. Weinberg definirono "popolazione in equilibrio" una popolazione all'interno della quale né le frequenze alleliche né la distribuzione dei genotipi mutano con il succedersi delle diverse generazioni.

Non modificandosi le frequenze degli alleli, non si avrebbe, pertanto, evoluzione.

Una popolazione resta in equilibrio solo se in essa si verificano alcune condizioni restrittive:

- non devono verificarsi mutazioni;
- non deve verificarsi un flusso di geni tra popolazioni, cioè non deve esserci una migrazione netta di alleli verso l'interno della popolazione (immigrazione) o verso l'esterno (emigrazione);
- la popolazione deve essere ampia (teoricamente infinita);
- non si deve verificare selezione naturale, vale a dire tutti i genotipi devono possedere le stesse capacità adattative e riproduttive.

Soddisfatte queste condizioni, le frequenze alleliche entro una popolazione rimarranno costanti per un periodo di tempo indefinito.

Tale equilibrio è espresso dalla seguente equazione:

$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

da cui

$$p + q = 1$$

In questa equazione la lettera **p** indica la frequenza di un allele e la lettera **q** indica la frequenza dell'altro allele;

p più **q** deve sempre essere uguale a **1** (cioè il 100% degli alleli di quel particolare gene nel pool genico).

L'espressione **p** indica la frequenza di individui omozigoti per un allele,

q la frequenza di individui omozigoti per l'altro allele,

2pq la frequenza degli eterozigoti.

Il venir meno di una o più di queste condizioni determina un cambiamento delle frequenze alleliche, cioè un'evoluzione.

Pochissime popolazioni naturali sono in perfetto equilibrio.

Per la legge di Hardy-Weinberg, cinque sono i fattori principali che governano i mutamenti evolutivi a carico di una certa popolazione:

1. la selezione naturale;

2. le mutazioni, che forniscono il materiale grezzo per il cambiamento (ma le frequenze di mutazione sono generalmente così basse che, di per sé, le mutazioni non determinano la direzione del cambiamento evolutivo);
3. il flusso genico, cioè il movimento di alleli verso l'interno o verso l'esterno del pool genico, può introdurre nuovi alleli o alterare la proporzione degli già presenti. Ha spesso l'effetto di controbilanciare la selezione naturale;
4. la deriva genica, è il fenomeno per cui certi alleli aumentano o diminuiscono di frequenza e, talvolta, anche scompaiono, come risultato di eventi casuali. Esempio di deriva genica è il fenomeno detto "collo di bottiglia";
5. Accoppiamento non casuale, che provoca cambiamenti nelle proporzioni dei genotipi, ma può anche non influire sulle frequenze alleliche.

Di seguito si riporta un esempio numerico che chiarisce il fenomeno dell'equilibrio genetico.

Supponiamo che esista una popolazione infinitamente numerosa nella quale si verificano le già note condizioni di panmixia; in essa siano presenti i genotipi AA, Aa, aa con le frequenze rispettive del 64%, 32%, 4%.

Alla gametogenesi avremo evidentemente che:

- gli individui AA daranno tutti i gameti con A = 64 A
- gli individui Aa daranno $\frac{1}{2}$ gameti con A e $\frac{1}{2}$ con a = 16 A, 16 a
- gli individui aa daranno tutti i gameti con a = 4 a
- la frequenza dei geni nel complesso dei gameti sarà 80 A, 20 a.

Al momento della fecondazione, poiché gli incontri dei gameti avvengono a caso, ossia secondo le loro rispettive probabilità, siccome nei grandi gruppi statistici frequenze e probabilità si equivalgono, ne consegue che la nuova generazione avrà esattamente la stessa composizione genetica della generazione parentale: 64% di AA, 32% di Aa, 4% di aa.

Si può quindi concludere che, in condizioni di riproduzione libera e casuale ed in popolazioni molto numerose, la distribuzione dei genotipi e la frequenza dei relativi geni non subiscono alcuna modifica attraverso le diverse generazioni.

In altri termini, la composizione genetica di una popolazione panmittica resta costante, e non dipende che dalla frequenza dei singoli geni.

[Appendice C: Genetica di popolazioni]

A partire dai primi decenni del XX secolo molti biologi, e soprattutto gli ecologi vegetali e forestali, hanno proposto dei metodi per valutare e quantificare le differenze tra i climi presenti sulla Terra. Sono state così prodotte diverse decine di formule utili ad individuare l'andamento del clima su scala subcontinentale, a livello cioè dei singoli biomi (*macroclima*) o su scale più ridotte, a livello di clima regionale e subregionale (*mesoclima*). In tutti i casi ci si è concentrati sui valori assoluti e sull'andamento stagionale delle precipitazioni piovose e delle temperature medie, minime e massime.

Molti degli indici escogitati hanno come scopo quello di individuare delle "fasce climatiche", cioè delle regioni omogenee che costituiscano l'ambito ottimale per lo sviluppo di determinati paesaggi vegetali e, di conseguenza, di determinati ecosistemi. Così è nata una branca della climatologia definita per l'appunto **bioclimatologia**.

Il geofisico e meteorologo di origine russa Wladimir **Köppen** ha proposto una suddivisione dei climi in 5 *classi climatiche* contraddistinte dalle prime lettere dell'alfabeto nell'ordine in cui a grandi linee si incontrano spostandosi dall'equatore verso i poli. A loro volta tali famiglie possono essere suddivise in 11 *tipi climatici* principali, che comprendono numerosi tipi secondari o *sottotipi*. Per quanto complessa soprattutto a livello dei sottotipi, questa suddivisione si mostra molto efficace sotto il profilo didattico e descrittivo: per questo motivo essa è tutt'ora di uso comune presso i geografi e i climatologi di tutto il Mondo.

Le cinque classi climatiche, secondo la classificazione di Köppen, risultano essere:

- A** - Climi umidi della zona intertropicale in cui tutti i mesi dell'anno presentano valori di temperatura > ai 18°C;
- B** - Climi aridi con varie condizioni caratterizzanti;
- C** - Climi mesotermici umidi in cui la temperatura del mese più freddo è compresa tra +18°C e -3°C;
- D** - Climi mesotermici boreali in cui la temperatura del mese di gennaio risulta inferiore a -3°C ma con quella di luglio > a +10°C;
- E** - Climi polari, con temperature nel mese di luglio < a +10°C.

Gli undici tipi climatici, poi, sono classificati grazie all'aggiunta di una lettera minuscola, secondo la

seguinte legenda:

- **s** stagione arida in estate
- **w** stagione arida in inverno
- **f** mancanza di una stagione arida

Inserendo un'ulteriore annotazione sul grado di aridità o sull'intensità del freddo, risultano quattro categorie contrassegnate ciascuna da una lettera maiuscola inserita come seconda lettera:

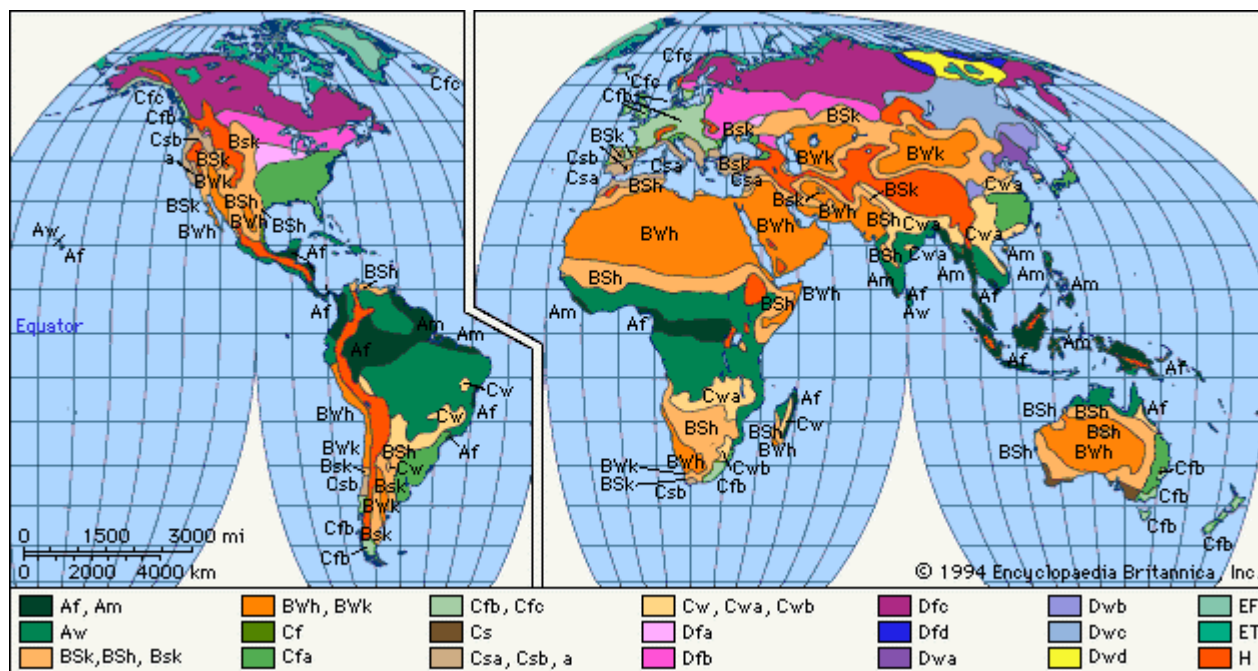
- **S** Steppe
- **W** Deserto
- **T** Tundra

- **F** Gelo

Ed ecco il sistema di Koppen nella sua formulazione generale, caratterizzato da 5 famiglie e 11 tipi.

Formula climatica	Definizione
1 Af	Clima tropicale senza stagione secca
2 Aw	Clima tropicale con inverno secco
3 BS	Clima secco della steppa
4 BW	Clima secco del deserto
5 Cf	Clima temperato senza stagione secca
6 Cs	Clima temperato con estate secca
7 Cw	Clima temperato con inverno secco
8 Df	Clima boreale senza stagione secca
9 Dw	Clima boreale con inverno secco
10 ET	Clima freddo della tundra
11 EF	Clima freddo del gelo perenne

Questa classificazione generale non esaurisce tutte le particolarità ed i regimi di transizione climatica osservabili su scala globale. Ad esempio, Koppen definisce ulteriormente i climi con lettere minuscole inserite in terza posizione.



I MODELLI ATOMICI

Negli ultimi decenni dell'Ottocento la maggior parte degli scienziati aderiva alla teoria atomica, ma i dati sperimentali che si andavano accumulando suggerivano l'idea che l'atomo non fosse in realtà il costituente ultimo della materia, ma che possedesse una struttura interna costituita di particelle elettricamente cariche. Al fine di descrivere e giustificare in modo adeguato le nuove caratteristiche che si evidenziavano a livello subatomico vennero creati, nei primi anni del '900, diversi modelli atomici.

I principali modelli della struttura dell'atomo sono presentati da tre grandi chimici:

- **Thomson**
- **Rutherford**
- **Bohr**

Thomson

L'atomo è rappresentabile come una **sfera carica di elettricità positiva** nel cui interno sono immersi gli elettroni.

Egli spiegò:

- gli **ioni positivi** come atomi che avevano **perduto elettroni**
- gli **ioni negativi** come atomi che avevano **acquisito elettroni**.

Rutherford

Allievo di Thomson pensò di applicare il fenomeno **della radioattività naturale**:

alcuni elementi quali uranio, radio e polonio, manifestavano la proprietà di emettere spontaneamente radiazioni:

- **Raggi α** : presentano carica positiva doppia rispetto a quella dell'elettrone e una massa di circa 7000 volte maggiore.
- **Raggi β** : sono costituiti da elettroni e hanno una capacità di penetrazione maggiore dei raggi α .
- **Raggi γ** : sono radiazioni elettromagnetiche prive di carica, dotata di elevatissima capacità di penetrazione. Il loro movimento non è influenzato dalla presenza di un campo elettrico.

Attraverso l'utilizzo dei raggi α , Rutherford concluse che:

- nell'atomo dovesse **esistere un nucleo** dotato di **carica elettrica positiva** in cui si concentrava quasi tutta la massa dell'atomo;
- gli **elettroni** si trovavano in uno **spazio circostante il nucleo** in una zona supposta circolare;
- lo spazio racchiuso dell'atomo era prevalentemente vuoto;
- la **forza centrifuga** generata dal moto di rotazione degli elettroni, avrebbe bilanciato la forza di attrazione elettrostatica esercitata su di essi, caricati negativamente, dal nucleo, caricato positivamente.

Però questo modello atomico non teneva conto del fatto che l'**elettrone**, ruotando intorno al nucleo, **irradia continuamente energia** e, pertanto, la sua orbita avrebbe dovuto restringersi fino alla caduta dell'elettrone sul nucleo stesso.

Nel 1912-1913 il fisico **Bohr**

- rielaborò il modello di Rutherford secondo il postulato per cui: **un elettrone**, finché ruota nella sua orbita, **non perde energia per irradiazione**;
- introdusse il concetto **di quantizzazione di energia**.

Nel 1900 il fisico tedesco **Planck** aveva dimostrato che:

- l'energia va pensata come formata da unità minime fondamentali, denominati **quanti**

QUINDI UN ATOMO:

- è costituito da **due sottostrutture fondamentali**: il **nucleo** con neutroni e protoni e gli **elettroni** che orbitano intorno ad esso;
- in esso **il numero di elettroni e protoni è uguale**, infatti l'atomo è elettricamente neutro;
- le particelle presenti nel nucleo sono formate da particelle più piccole, **i quark**;
- **il numero atomico è il numero dei protoni presenti nel nucleo di un atomo**;
- **il numero di massa è formato dalla somma dei protoni e dei neutroni presenti in un atomo**.
Corrisponde approssimativamente alla massa atomica dell'elemento;
- atomi rappresentati con le caratteristiche del nucleo vengono detti **nuclidi**;
- **l'idrogeno non presenta neutroni**;

- **gli isotopi sono atomi di un medesimo elemento che possiedono lo stesso numero di elettroni e di protoni, ma un numero differente di neutroni nel nucleo**, per cui sono caratterizzati dal medesimo numero atomico, ma da un differente numero di massa.

BERGSON

In opposizione al **neokantismo** e al positivismo che dominavano il panorama culturale di fine ottocento, Bergson riprende i temi dello **spiritualismo francese** ed elabora un pensiero vitalista della spontaneità e della novità del processo reale, fondato sull'intuizione come metodo.

Gli anni dell'ottimismo positivista

Bergson, da giovane, fu un ammiratore di Spencer e della teoria dell'evoluzione di Darwin, fu un convinto sostenitore del positivismo e del suo ottimismo scientifico. Se la teoria dell'evoluzione di Darwin permetteva di illustrare la natura come un enorme meccanismo in perenne movimento, dove le forme di vita si evolvevano assumendo forme sempre più funzionali all'adattamento, il positivismo considerava la scienza e l'esperimento capaci di spiegare tutti gli aspetti della realtà attraverso i meccanismi univoci e deterministici della fisica e della matematica.

Tuttavia Bergson si accorse ben presto che la natura della coscienza degli uomini e la loro percezione del tempo bastava a mandare all'aria i presupposti del tempo rigidamente determinato in una successione precisa di secondi e millesimi di secondo proprio dell'atteggiamento positivista e che il darwinismo non poteva illustrare comunque la vita in tutta la sua pienezza. Il pensiero di Bergson si inserirà quindi in quel filone filosofico antagonista al positivismo che è lo spiritualismo (la corrente filosofica che ritiene il contenuto della coscienza, ovvero lo spirito, entità che si oppone ad ogni tentativo di riduzione e comprensione deterministica).

Tempo 'meccanico' e durata della coscienza

La filosofia di Bergson è tesa ad una comprensione radicale del divenire ben più profondamente rispetto a quella comprensione dei mutamenti in senso deterministico che vuole essere il positivismo. Bergson avverte che il divenire, ovvero la fluidità mutevole e irriducibile degli accadimenti del mondo, non può essere in alcun modo determinata in senso rigoroso dalle leggi fisiche e matematiche.

Si prenda, ad esempio, il concetto di tempo (fino a Bergson trattato in modo decisivo solamente da Agostino): **il tempo proposto dalle scienze deterministiche è un susseguirsi ordinato e "meccanico" di eventi** (ovvero il tempo è rigidamente determinato nei suoi passaggi temporali dal passato, al presente e al futuro). Il tempo, per la fisica, è un susseguirsi di fotogrammi, analogamente alla pellicola cinematografica. Ma questo concetto di tempo risulta fatalmente solo una semplificazione di una realtà che giunge alla coscienza in modo più fluido.

(Si ricordi anche il paradosso di Zenone, seguace di Parmenide, il quale, constatando che la traiettoria di una freccia era come un insieme di istantanee ferme messe in fila una dopo l'altra, sosteneva che non esisteva movimento alcuno, poiché il movimento non può generarsi dall'immobile).

In realtà, afferma Bergson, la suddivisione dell'azione in istantanee è un processo a posteriori messo in atto dalla mente umana, che cerca così di mettere ordine in una realtà che altrimenti sembrerebbe inafferrabile e incomprensibile (se il tempo non fosse inteso come un susseguirsi ordinato di ricordi del passato e comprensione del presente, nulla sarebbe comprensibile). **Il "moto di istantanee" che costituisce il tempo secondo le scienze deterministiche è quindi una convenzione**

semplificatoria, la realtà vissuta è molto più elusiva, non classificabile entro alcun sistema determinato.

Vi è allora il tempo della fisica e del positivismo, in cui tutti gli attimi sono uguali tra loro e si susseguono sempre con lo stesso intervallo: questo genere di *tempo* permette ai fisici di fare previsioni sul futuro dato un certo stato di cose presente. Il tempo meccanico della fisica è allora una rigida e convenzionale divisione in millesimi di secondo della realtà, suddivisione che sembra essere finita, malgrado nessuno possa dire quale è la durata precisa di un attimo.

Dall'altro vi è invece la realtà meno determinata e più fluida della coscienza umana: il tempo percepito dallo spirito non coincide con quello misurato dai fisici. **La coscienza percepisce il tempo come durata, ovvero la coscienza vive il presente *prolungandosi in parte nel passato e in parte nel futuro, vive il presente abbracciando l'immediato passato e l'immediato futuro, nell'impossibilità di congelare il presente in un unico momento definito*** (il presente è il ricordo dell'immediato passato e l'anticipazione dell'immediato futuro).

Inoltre la durata della coscienza non necessariamente vive il tempo dando ad ogni singolo attimo la stessa durata, per la coscienza vi sono attimi più intensi di altri e attimi più lunghi di altri. Per la coscienza un attimo può durare un'eternità, altri sembrano talmente veloci da non potersi nemmeno ricordare. La durata della coscienza è quindi il *moto ondoso* del presente che, tendendo sempre e comunque verso il futuro, trascina con sé *qualche traccia* del passato.

Il moto delle sensazioni

Per Bergson il presente è un moto della sensazione che si conclude nell'azione. In questo presente fluido e vorticoso, nascono in noi le idee delle azioni, ma per poterle attuare ci poniamo delle mete da raggiungere, obiettivi immobili che tentano di afferrare uno stato di fluidità impossibile da *congelare*. **Per permetterci l'azione, noi concepiamo la realtà come un susseguirsi di mete immobili** (veri e propri *fotogrammi spirituali*), **trascurando così tutto il vorticoso fluire della coscienza tra una meta e l'altra (se infatti tutto fosse un vortice inafferrabile di significati, non potremmo agire, la coscienza, necessariamente, tenta di mettere ordine nella fluidità temporale degli eventi).**

(Si pensi, ad esempio, a quante sensazioni si 'accendono' e si sovrappongono nella nostra mente in stato cosciente, e a quante di esse diamo un reale significato nel nostro tentativo quotidiano di raggiungere le mete che ci poniamo. Queste mete sono il nostro metro temporale, dei 'paletti spirituali' entro i quali ci è permesso di dare un senso al fluire degli avvenimenti).

Bergson considera allora il corpo umano come l'anello di congiunzione tra passato e futuro: il nostro corpo, essendo la sede delle sensazioni e quindi delle azioni che ne derivano, è la materia che permette la durata della coscienza, ovvero quel moto della coscienza in divenire che è il nostro presente.

La critica al darwinismo

Ne *L'evoluzione creatrice* Bergson critica aspramente l'idea darwiniana di una natura che tende al continuo progresso della specie economizzando al massimo le perdite. Lungi dall'essere economica e finalizzata esclusivamente al progresso e al miglioramento delle speci, la natura è invece sprecona e priva di qualsiasi fine intelligibile.

La natura non economizza le sue risorse, nella lenta e continua evoluzione delle speci essa, prima di arrivare ad un successo, disperde molte delle sue energie in tentativi evolutivi inutili e destinati all'insuccesso. La natura non è nemmeno intelligente, essa infatti non sceglie da sé il progetto migliore al primo tentativo, bensì esplora prima sempre ogni possibilità, con un evidente spreco di tempo. Perciò anche la specie umana non è il culmine di un percorso finalizzato, ma solamente uno dei tanti possibili esiti dell'evoluzione.

La vita è un'onda che travolge la materia

Per Bergson lo slancio evolutivo che ha portato, partendo dai semplici atomi, allo sviluppo di organismi viventi complessi, è come un'onda impetuosa che sommerge la materia. Ciò vuol dire che l'evoluzione, nel suo complesso, supera sempre e comunque ogni ostacolo che gli pone davanti la materia, come, ad esempio, l'ostacolo costituito dal lento adattamento alle condizioni ambientali delle diverse forme di vita.

Parte dell'onda si trasforma in vortice e risacca (i tentativi evolutivi abbandonati), **un'altra parte supera l'ostacolo e si abbatte sulla riva: quest'ultima condizione è l'emblema della vita umana** (ovvero il risultato ultimo di quell'impeto vitale incontrollato e inarrestabile che finalmente si determina). Lo slancio vitale che determina l'evoluzione è quindi l'impeto della vita che esplora le sue possibili combinazioni in ogni direzione, senza alcuna predeterminazione. **Lo slancio vitale è un processo libero, caotico e assolutamente imprevedibile.**

Nulla può resistere quindi alla vita e al suo slancio, se proprio non possiamo sottrarci alla volontà di dare un senso a tutto, possiamo dire che *nella vita si avverte la volontà di passare oltre ogni ostacolo, un inarrestabile impulso alla perpetuazione dello slancio creatore.*

Intelligenza e intuizione

Bergson distingue l'intelligenza dall'intuizione, assegnando a quest'ultima una posizione privilegiata rispetto alla prima.

L'intelligenza è quella qualità umana che è più strettamente connessa alla qualità della materia cerebrale. L'intelligenza è quindi responsabile dell'interpretazione meccanica della realtà. **Essa è razionalità pura, intelletto, per questo l'intelligenza nega la durata della coscienza cercando di mettere ordine nella realtà fluida delle sensazioni.**

Nonostante ciò, una parte dell'intelligenza rimane ancora libera dai vincoli della materia, questa parte è l'intuizione. **L'intuizione è l'istinto dell'intelligenza, un'illuminazione dello spirito, repentina e istintiva, folgorante.**

L'intelligenza, nella sua lotta millenaria contro la materia, ha in qualche modo esaurito la sua energia in questa lotta, cosicché, in epoca moderna, essa sembra l'unica via praticabile alla soluzione dei problemi (*ovvero l'intelligenza è troppo connessa alla meccanica della materia per farsi interprete di un reale slancio vitale irrazionale e caotico*).

L'importanza dell'intuizione, secondo Bergson, è tutta da riscoprire: **l'intuizione va posta al di sopra della ragione intelligente, in quanto, non risentendo della rigidità del pensiero razionale** (la rigidità della materia), **è la via più genuina e istintivamente umana alla soluzione di ogni problema** (in quanto connessa alle qualità dello spirito).

Le risposte ai grandi quesiti esistenziali sono ancora principalmente intuitive, la ragione ci lascia ad un certo punto al buio sulle questioni che riguardano il senso profondo del nostro esistere.

"Tuttavia, l'intuizione sussiste sempre, ancorché vaga e, soprattutto, discontinua, simile a una lampada quasi spenta, che si rianimi solo a tratti, per brevi istanti."

NUOVE IDEE PER IL ROMANZO

Il modello di romanzo definito nel corso dell'Ottocento nasceva dall'intento degli scrittori di appropriarsi della realtà (della realtà storica e di quella contemporanea, della realtà sociale e di quella psicologica) *attraverso la scrittura* e dalla convinzione che proprio il romanzo, per la sua particolare libertà, si prestasse più di qualunque altro *genere* alla "conoscenza" e rappresentazione del mondo nella sua molteplicità di ambienti, caratteri, relazioni sociali, fenomeni di costume.

Quel modello di narrazione prevedeva un *soggetto narrante affidabile ed autorevole*, con il compito di delimitare, nel magmatico ed illimitato sviluppo del reale, *una concatenazione di eventi conclusa* e di darle *senso* alla luce d'una concezione del mondo.

Fu il filosofo Hegel a sottolineare a proposito del romanzo che, come l'epopea delle età eroiche, anche la *“moderna epopea borghese”* esigeva *“la totalità d'una concezione del mondo e della vita”* che illuminasse il singolo evento raccontato.

Qui sta dunque la peculiarità del romanzo ottocentesco, in questa capacità di *“ridurre il mondo a linee significative”*, dove al prima e al poi corrispondono precise concatenazioni di causa ed effetto.

Vediamo adesso alcune delle principali novità che il romanzo novecentesco europeo introduce, rispetto a quel modello, sia sul piano tematico che su quello formale.

1. SOGGETTO ED OGGETTO

A partire dalla rivoluzione scientifica seicentesca fino all'alba del secolo XX°, la cultura occidentale è incardinata sull'idea che sia possibile *una conoscenza oggettivamente ed universalmente condivisibile* della realtà, garantita dalla reciproca autonomia del *soggetto* e dell'*oggetto* della conoscenza stessa. In altre parole, esiste una *realtà oggettiva*, regolata da leggi assolutamente indipendenti dal soggetto che la osserva, mentre il soggetto, da essa distinto, la interpreta secondo categorie logiche, universali. Su questa certezza, già formulata in termini definitivi da Cartesio, si è fondata per tre secoli la conoscenza scientifica, ma anche qualunque altra forma di conoscenza, arte compresa. Tuttavia, proprio con i primi decenni del Novecento, quella persuasione comincia a subire colpi pesanti, sia per il tramonto delle certezze positivistiche e per la crescita di istanze irrazionalistiche e spiritualistiche, sia per le smentite ch'essa subisce ad opera degli stessi scienziati (nascita delle geometrie non euclidee; teoria della relatività di Einstein; principio di indeterminazione di Heisenberg).

Accade insomma, come scrive l'epistemologo S. Amsterdamski, che *“la sovranità conoscitiva del soggetto, la sua capacità di acquisire un sapere non mediato soggettivamente - valido per ogni soggetto conoscitivo, indipendentemente dalla sua costituzione fisica e dalla sua collocazione nella storia - viene ora messa in discussione [...] alla luce dello sviluppo stesso della fisica, della biologia, delle discipline sociali.”*

Cosa significa, in termini di teoria e pratica del romanzo, il non poter più fare affidamento su una realtà autonoma dalla soggettività che la vive, oggettivamente riconoscibile e rappresentabile? Significa che soggetto e oggetto non sono più separabili nella narrazione, e ciò che si può rappresentare sono, al massimo, le reazioni psichiche che la realtà opera nell'interiorità degli individui. Potremmo dire che il mondo interiore assorbe il reale, lo *“disincarna”* (come afferma Virginia Woolf) e il narratore non è più in grado di raccontare *ciò che è*, ma deve limitarsi a *ciò che pare*, come pare a questo o a quello, in questo o in quel momento.

A tutti i maggiori narratori europei del primo quarto di secolo accade appunto questo. Si pensi solo a Marcel Proust, nella cui *Récherche* il narratore-protagonista non racconta i fatti della sua vita, così come si sono verificati nella esteriore cronologia degli anni, dei mesi, dei giorni, ma il proprio percorso di recupero di come quei fatti si sono depositati nella sua anima, perché quella è la loro vera realtà, il loro vero significato. Il *tempo rivisitato* è più reale del *tempo vissuto*.

2. FRAMMENTAZIONE DELLA COSCIENZA, FRAMMENTAZIONE DELLA REALTÀ

Conviene a questo punto una precisazione: che un romanzo sia centrato più sui *pensieri* dei personaggi che sui *fatti* non è in sé una novità assoluta. Basti pensare ai romanzi di Gabriele

D'Annunzio o a quelli dello scrittore americano Henry James, per fare due esempi assai differenti di “romanzi psicologici”. Tuttavia, se è vero che in quei romanzi la realtà esterna era raccontata come si rispecchiava nella coscienza dei protagonisti, è anche vero che quel rispecchiamento ne dava un'immagine unitaria, un'interpretazione coerente e, si potrebbe dire, “autentica”. Adesso questo non è più vero: i riflessi della realtà esterna nell'interiorità dei personaggi risultano frammentati, ambigui, spesso incoerenti.

Talora, ad esempio, i punti di vista che filtrano il reale sono più di uno, e magari assolutamente non convergenti, per cui non è possibile ricostruire, al di là di “*quel che sembra*”, un condiviso “*quel che è*”. Un procedimento del genere è portato ad esiti molto avanzati nei capolavori di Virginia Woolf, *La signora Dalloway* e *Gita al faro*.

Ma è più frequente che sia la coscienza del singolo personaggio ad essere “mobile”, incoerente, sensibile a sollecitazioni diverse, spesso inconsce. Nessuno di noi è sempre lo stesso; anzi, per dirla con Pirandello, ognuno vive “*come se veramente in lui fossero più anime diverse e perfino opposte, più e opposte personalità*”.

Ciascuno è in ogni momento il risultato d'un conflitto di pulsioni, doveri, speranze, ideali, presentimenti, paure, che si combinano ogni volta in sintesi diverse. Dunque la rappresentazione del mondo perde unità e coerenza perché è la coscienza che lo rispecchia ad essere molteplice e priva di unità. Per citare ancora Proust, capita spesso nella *Récherche* che un evento, già definito nei suoi caratteri e nel suo valore, si ripresenti in un altro momento con caratteri diversi e diversi significati, e che magari il *pro* si muti in *contro*, e ciò che era parso una sventura si riveli una fortuna. Interpretazioni autentiche della realtà, come si vede, non ce ne sono più.

3. LA CRISI DEL PERSONAGGIO

L'idea che la personalità di ciascuno non sia *una* ma *molteplice* troverà sostegni e conferme nella dottrina psicanalitica (secondo la quale ogni soggetto è prodotto d'un equilibrio precario, sempre bisognoso d'essere ricostituito, tra istanze diverse, consce ed inconsce, interne ed esterne), ma già prima di Freud essa aveva sostenitori, come ad esempio Alfred Binet, che ebbe notevole influenza su Pirandello. Bene: non è difficile comprendere quanto quell'idea della psiche abbia messo in discussione il tipo del personaggio tradizionale e contribuito alla crisi della *forma romanzo* ottocentesco.

Il personaggio dei romanzi realisti e naturalisti precedenti, infatti, si presentava come un “carattere” unitario, fornito di una sostanziale coerenza di impulsi, ambizioni, progetti, azioni. Proprio grazie a questa assenza di contraddizioni egli si muoveva nel mondo assumendosi delle responsabilità, interagendo con le forze sociali e morali del suo ambiente - ora in consonanza con esse, ora, magari, in opposizione - e lasciandovi comunque il segno della propria azione. Nel romanzo del Novecento, invece, il protagonista è solitamente incapace di dominare il reale proprio per mancanza d'un *carattere*, d'una *volontà* unitaria: si “scompone” in una miriade di impressioni, percezioni, impulsi, aspirazioni, prive di continuità e coerenza reciproca. Non a caso l'*inettitudine* è uno dei temi fondamentali del grande romanzo novecentesco di inizio secolo (da Kafka a Joyce, da Schnitzler a Musil).

4. LA NUOVA CONCEZIONE DEL TEMPO

L'assorbimento del reale nella dimensione interiore del soggetto determina la crisi anche del fondamentale criterio con cui il romanzo tradizionale organizzava la realtà: il *tempo*.

Il tempo del romanzo ottocentesco è il tempo - reale e misurabile - dell'orologio, fatto di momenti distinti e separati, che si succedono in modo che quello che segue sopprime e sostituisce il precedente. Nelle storie dei *Promessi sposi* o di *Madame Bovary*, ciò che veniva dopo era

conseguenza e soluzione di *ciò che veniva prima*. C'erano magari discordanze tra l'intreccio e la *fabula*, per cui l'autore tornava indietro a raccontare fatti anteriori a quelli che già aveva narrato (*analessi*) oppure anticipava fatti che sarebbero avvenuti solo in seguito (*prolessi*). Tuttavia la storia seguiva comunque un filo, che trasportava dal passato al presente al futuro, senza che le tre dimensioni si confondessero.

Nel romanzo del Novecento, invece, predomina una concezione soggettiva del tempo, che ha la sua formulazione più compiuta nella filosofia di Henri Bergson: il tempo non è qualcosa che trascorre e muore, ma si deposita nell'anima dell'individuo, e lì interagisce con il presente e determina l'aspettativa del futuro. Noi siamo dunque, in ogni momento, il prodotto di tutti gli istanti della nostra vita, che non sono separabili, e il passato non è qualcosa di interamente trascorso e concluso, sicché non possiamo distinguere con nettezza ciò che è stato da ciò che è.

Quali sono le conseguenze di questa interiorizzazione del tempo sul piano della scrittura?

-L'effetto più clamoroso è l'indebolimento dell'*intreccio*, inteso come successione di eventi che vanno in progressione cronologica verso uno scioglimento. Adesso gli eventi si accostano per richiami impreveduti, per analogie, che portano il racconto qua e là, avanti e indietro, nello spazio e nel tempo. Non sono più le *analessi* e le *prolessi* del romanzo tradizionale, tecniche narrative che comunque non compromettevano lo sviluppo cronologico della *fabula*; adesso l'ininterrotto andare e venire nel tempo è condizione psicologica costitutiva d'un soggetto che non si riconosce più nella misurazione sociale, pratica, del tempo. Il superamento delle misure temporali dell'esistenza è ad esempio l'elemento fondamentale della narrazione di Proust.

-Collegato all'indebolimento dell'intreccio tradizionale abbiamo il venir meno dell'importanza del *sommario* e il procedere della narrazione preferibilmente per *scene* ed *ellissi*. Nel romanzo ottocentesco i momenti salienti dell'intreccio erano raccontati in modo dettagliato nelle *scene*, ma era il sommario ad assumere un ruolo fondamentale di raccordo delle varie *scene* dentro un tessuto privo di lacerazioni, interruzioni, deviazioni. Adesso invece le scene tendono a porsi l'una accanto all'altra, e i fatti che intercorrono tra l'una e l'altra sono spesso appena accennati o addirittura taciuti (*ellissi*). Abbiamo una sorta di *prevaricazione del particolare* rispetto all'insieme.

-Ma non basta. Il privilegiamento dei fatti da narrare – proprio per la generale svalorizzazione della vita esterna – non risponde più ad alcuna, oggettiva, gerarchia: elementi che, secondo logica, sembrerebbero marginali, hanno la prevalenza su altri che sembrerebbero essenziali. Si raccontano giornate qualsiasi, scelte a caso (come fa ostentatamente Joyce); eventi che dovrebbero essere decisivi vengono accennati quasi distrattamente (la morte del padre è in Proust comunicata al lettore solo per incisi); episodi di cui è difficile scorgere una necessità ai fini della storia si dilatano per pagine e pagine.

JAMES JOYCE

James Joyce is an Irish author, whose writings feature revolutionary innovations in prose techniques. Joyce's technical innovations in the art of the novel include an extensive use of interior monologue; he used a complex network of symbolic parallels drawn from the mythology, history, and literature, and created a unique language of invented words, puns, and allusions.



He was one of the foremost literary figures of the 20th century. Joyce is best known for his epic novel *Ulysses* (1922), which uses stream of consciousness, a literary technique that attempts to portray the natural and sometimes irrational flow of thoughts and sensations in a person's mind.

Joyce was a pioneer and a model for authors who believed in free written expression. Most of his works feature inventive language, and many of them have been criticized for being too obscure in their references or too blunt in their descriptions of intimate matters, including sexual activity. His writing evolved steadily from adolescent lyrics to precise vignettes to bold combinations of autobiography and satire. Most of his works deal with everyday life in 20th-century Dublin. Joyce once remarked that "the extraordinary is the province of journalists," and most of his writings concentrate on ordinary people, objects, and places.

Although Joyce renounced the Roman Catholic faith, his writings frequently refer to the rich tradition of the Church. He compared the artist and the writer to the priest, who performs certain social and aesthetic functions in a dramatic display. He also compared the literary use of symbols to the religious use of sacraments, which are the outward and visible representations of inward and invisible spiritual states. (One such sacrament is baptism, which represents the favour of God bestowed on an individual.) Joyce called some of his early sketches epiphanies; the term epiphany, often used in a religious context, means an understanding that comes about through a sudden intuitive realization. A Joycean epiphany is a small descriptive moment, action, or phrase that holds much larger meaning—for example, a single word or gesture that explains a person's entire personality.

Joyce's first prose work, *Dubliners* (1914), is a book of 15 short stories and sketches that revolve around the sad spirit of the ancient city of Dublin, and crucial episodes in the lives of its inhabitants. After *Dubliners*, Joyce wrote *A Portrait of the Artist as a Young Man* (1916) and *Ulysses* (1922), both of which experiment with ways of representing an individual's interior consciousness while at the same time describing his exterior life.

A Portrait of the Artist as a Young Man follows the character Stephen Dedalus as he grows into manhood. Many people consider Stephen to be a semiautobiographical version of Joyce himself, an interpretation supported in part by Stephen's decision at the end of the book to leave his home and country to become a writer.

Portrait makes considerable use of the stream-of-consciousness technique. For example, the beginning of the book—describing Stephen's experiences as a baby—represents the thoughts of an infant as well as other people's so-called baby talk to an infant: "Once upon a time and a very good time it was there was a moocow coming down along the road and this moocow...His father told him that story: his father looked at him through a glass: he had a hairy face." Joyce had

difficulty publishing *Portrait* in Ireland. Eventually, one of his private benefactors, Harriet Shaw Weaver, arranged for it to be published in the United States.

Joyce attained international fame with the 1922 publication of *Ulysses*, which many people consider one of the greatest and most original books ever written. On a literal level, the book describes one

day in the life of three people living in Dublin: Stephen Dedalus, an Irish Jewish man named Leopold Bloom, and his wife, Molly. On a symbolic level, Ulysses is loosely based on the content and ten-year time frame of the ancient Greek epic the Odyssey, by the Greek poet Homer. The character of Stephen corresponds with Telemachus, the son of Odysseus, searching for his wandering father; Leopold Bloom corresponds with Odysseus; and Molly corresponds with Odysseus's wife, Penelope.

The 18 chapters of Ulysses parallel episodes from the Odyssey, but there are crucial differences between the two books. For instance, most interpretations of the Odyssey credit Penelope with fidelity during her husband's lengthy absence, while Molly Bloom is unfaithful to her husband.

As in Portrait, each chapter in Ulysses has a distinct style that reflects both the exterior and interior lives of the characters and their development as individuals.

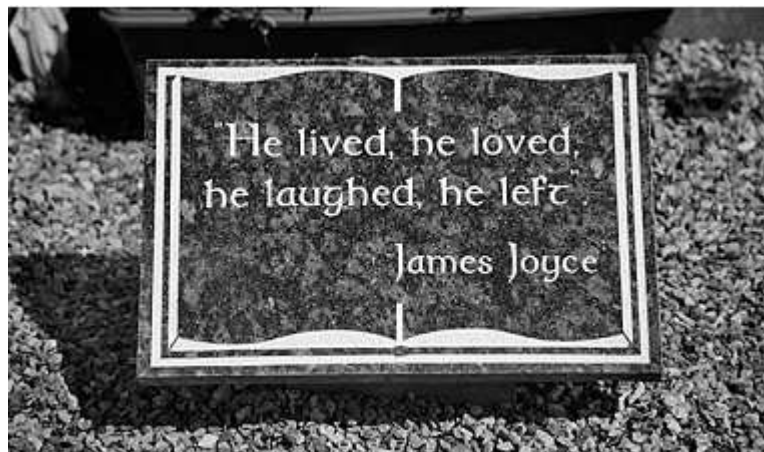
The final chapter gives Molly's interior monologue as she is on the border of sleep. Molly reviews her life in what turns into a personal epiphany about what womanhood means to her. At the end of the passage, Molly accepts her love of life as well as her surviving love of her husband, and she repeats the affirmation: "...and yes I said yes I will yes."

It is possible say that the two most important Joyce's innovations are the "stream of consciousness" and the "epiphany".

"Stream of consciousness" is characterized by a flow of thoughts and images, which may not always appear to have a coherent structure or cohesion. The plot line may weave in and out of time and place, carrying the reader through the life span of a character or further along a timeline to incorporate the lives (and thoughts) of characters from other time periods.

Writers who create stream-of-consciousness works of literature focus on the emotional and psychological processes that are taking place in the minds of one or more characters. Important character traits are revealed through an exploration of what is going on in the mind. It is known also as "interior monologue".

As a feeling, an "epiphany" is a sudden realization or comprehension of the essence or meaning of something. The term is used in either a philosophical or literal sense to signify that the claimant has "found the last piece of the puzzle and now sees the whole picture," or has new information or experience, often insignificant by itself, that illuminates a deeper or numinous foundational frame of reference.

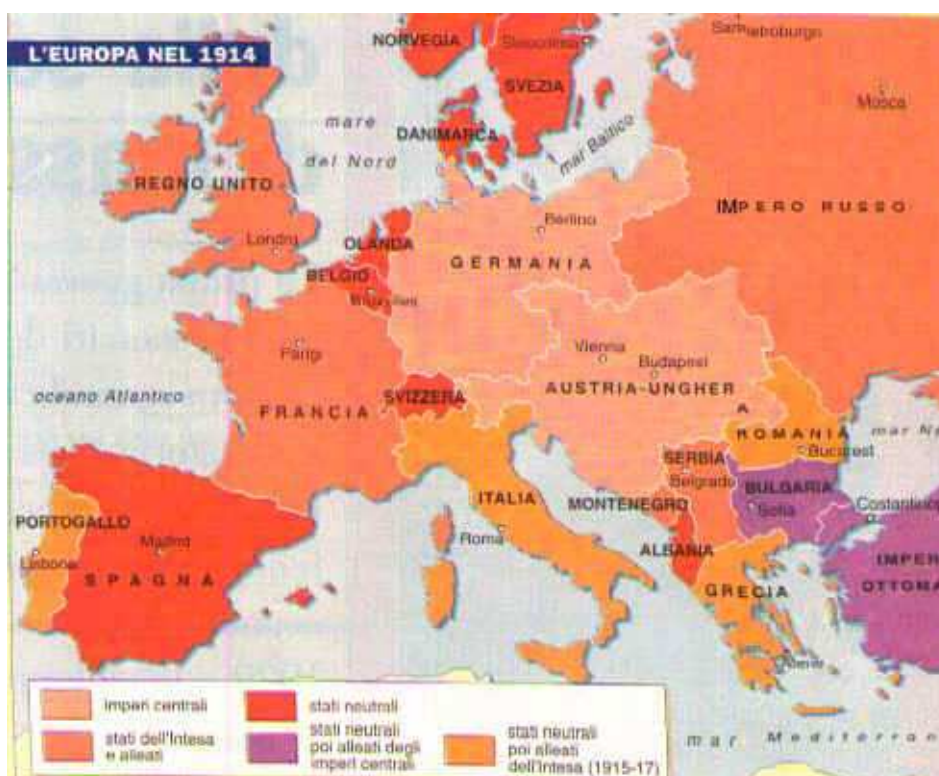


LO SCENARIO STORICO: IL PRIMO CONFLITTO MONDIALE

I primi anni del Novecento furono caratterizzati dal più grande scontro bellico che si fosse mai, fino ad allora, verificato: la “Grande Guerra”.

I vari elementi che contribuirono, in varia misura, a predisporre l’Europa ad un conflitto generale, sono quattro:

- il mutamento del clima intellettuale e culturale verificatosi nel primo decennio del secolo e caratterizzato da profonde inquietudini, generate dalla crisi delle illusioni positiviste (l’idea di un progresso lineare e continuo; la fede nel trionfo della ragione e della scienza);
- lo scatenarsi delle rivalità economiche tra le grandi potenze e il riversarsi delle mire imperialistiche dal mondo coloniale sull’Europa (ascesa della Germania e suo porsi in antagonismo con la potenza economica e commerciale britannica);
- l’esasperazione dei nazionalismi;
- la formazione in Europa di due gruppi di potenze, tendenti a rendere sempre più stretti i vincoli di alleanza al loro interno e divisi tra loro da esasperate rivalità, ad accrescere le quali vennero alcune gravi crisi internazionali (crisi e guerre balcaniche).



La Prima Guerra Mondiale, nelle sue origini più immediate, fu la conseguenza:

- delle acute rivalità nei Balcani;

- del funzionamento quasi automatico dei sistemi di alleanze;
- dell'illusione, condivisa da tutti gli Stati coinvolti, di un conflitto breve.

Invece la guerra, sconvolgendo l'Europa non solo da un punto di vista militare (impiego di eserciti sterminati, di micidiali armi di distruzione), ma anche da un punto di vista politico, sociale ed economico (soprattutto in conseguenza del passaggio dalla guerra di movimento alla guerra di posizione), provocò un completo mutamento del quadro generale e degli stessi obiettivi per i quali era scoppiata.

Di tale mutamento i protagonisti stessi tardarono a prenderne coscienza, ma esso risultò evidente nel cruciale anno 1917, quando la rivoluzione russa e l'intervento americano vennero a modificare la natura e la dimensione dello scontro ed a condizionare profondamente il suo esito.

Le modifiche intervenute nelle finalità della guerra e le trasformazioni da essa generate nella vita e nell'assetto dei Paesi belligeranti riguardarono anche l'Italia, entrata nel conflitto a fianco dell'Intesa, dopo un lungo e lacerante scontro interno tra neutralisti ed interventisti.

La Prima guerra Mondiale non fu come era stata presentata al suo inizio, l'ultima guerra del Risorgimento, essa, al contrario, preparò la crisi dello Stato liberale risorgimentale.

Il 1917 costituisce, sotto tutti gli aspetti, un punto di svolta non soltanto per la Prima Guerra Mondiale, ma anche per il corso della storia contemporanea. Con l'intervento nel conflitto degli Stati Uniti e con l'esplosione della rivoluzione in Russia, seguita dalla conquista del potere da parte delle forze bolsceviche, vennero modificati tutti i rapporti tra le forze in campo, risultò accelerato il declino delle potenze europee a vantaggio della potenza americana, mentre l'intero assetto politico e sociale del continente, già scricchiolante in conseguenza alla guerra, sembrò venire sconvolto dalla ventata rivoluzionaria partita dalla Russia ed estesi al centro Europa.

L'intervento americano venne giustificato con l'intento ed il programma di assicurare alla guerra uno "sbocco democratico": in un certo modo, gli Stati Uniti sembrarono assumersi il compito d'indicare all'Europa le vie per una pace duratura fondata sul rispetto dei principi di autodeterminazione e sulla volontà popolare, anziché su quelli del nazionalismo e dell'imperialismo. Ma tale programma, contenuto nelle formule poco realistiche dei quattordici punti di Wilson (1918), risultò poi vanificato dall'andamento delle trattative di pace e dai timori che la rivoluzione sovietica si allargasse.

Quanto alla rivoluzione, è opportuno ricercarne le premesse nella situazione della società russa prima della guerra, nella gravissima crisi del 1905 (quando fecero la loro comparsa i soviet), nella progressiva disgregazione dell'esercito e dello Stato provocata dalla guerra. Quasi tutte le forze rivoluzionarie, che nel febbraio del 1917 portarono all'abbattimento dell'impero, ritenevano che la Russia dovesse passare attraverso un sistema democratico-parlamentare di tipo occidentale. Toccò a Lenin, con le tesi di aprile, affermare che in Russia poteva verificarsi il passaggio immediato dal sistema autocratico zarista a quello comunista fondato sui soviet e sulla guida del partito bolscevico. La seconda fase della rivoluzione, quella di ottobre, portò infatti al potere i bolscevichi, che iniziarono l'instaurazione del comunismo, conclusero la pace con gli imperi centrali, mentre il Paese precipitava nella guerra civile.

Il crollo della Russia favorì in un primo tempo, sul piano militare, gli Imperi centrali (Caporetto); ma in un secondo tempo, l'esempio della Rivoluzione bolscevica fece precipitare la crisi latente del loro assetto interno, che, aggiungendosi ad altri elementi disgregatori e al rafforzamento dell'Intesa

prodotto dagli aiuti americani, condusse la Germania e l'Austria-Ungheria al crollo nel novembre 1918.



APPENDICE A: LA RELATIVITA' DI EINSTEIN

Per intendere la teoria della relatività bisogna premettere alcune considerazioni.

Se si dice «una nuvola staziona su Piazza S. Pietro a Roma», la posizione della nuvola è individuabile numericamente attraverso un sistema di coordinate cartesiane. E se si dice «una nuvola si muove su Piazza S. Pietro», le posizioni occupate successivamente dalla nuvola sono sempre individuabili con un sistema di coordinate. Naturalmente si dà per inteso che il luogo «Piazza S. Pietro» sia situato su di un corpo di riferimento rigido e immobile, la Terra.

Ora, se si dice che un treno viaggia ad 80 km all'ora, le posizioni occupate dal treno in un'ora sono individuabili anch'esse in un sistema di coordinate; 80 km all'ora, dunque, ma relativamente alla strada ferrata che si dà per immobile, situata su un corpo rigido.

E se si afferma che un passeggero di quel treno si muove in esso a 3 km all'ora, anche le posizioni occupate in successione da tale viaggiatore sono individuabili in un sistema di coordinate; naturalmente però supponendo il treno, corpo di riferimento, come immobile.

Dunque ogni cosa ed ogni evento sono individuabili, in termini di misura, *rispetto* a un corpo di riferimento, e in un sistema di coordinate. E tutte le leggi della meccanica classica hanno valore, per un determinato fenomeno, all'interno di un sistema di riferimento, in relazione ad un preciso sistema di coordinate.

Ma un fenomeno fisico è lo stesso se considerato dall'interno del sistema di coordinate in cui esso ha luogo, o dall'esterno, cioè da un osservatore che si trova in un altro sistema di riferimento? Le leggi della meccanica sono valide anche se il fenomeno sia considerato da un osservatore «situato» in un «altro» sistema di riferimento?

Se io dicessi, senza seria riflessione ed opportuni chiarimenti, che la meccanica classica ha per scopo di determinare come i corpi mutano col tempo la loro posizione nello spazio, verrei meno, e gravemente, alle leggi della chiarezza. Non è chiaro a questo punto che cosa s'intenda per *posizione* e *spazio*.

Dal finestrino di un treno che viaggia a velocità uniforme lascio cadere un sasso sull'argine della strada, senza imprimere ad esso alcuna spinta. Prescindendo all'azione della resistenza dell'aria, vedo cadere il sasso secondo una linea retta. Un osservatore, che dalla strada osserva il fatto, vede la pietra cadere a terra con una traiettoria ad arco di parabola.

Chiediamoci allora:

- i luoghi nei quali il sasso passa si trovano effettivamente su una retta o su una parabola?
- che significa *moto nello spazio*?

Eliminiamo anzitutto il generico termine «spazio n , col quale non si designa nulla di preciso, e tanto meno un oggetto, e consideriamo invece l'espressione «movimento relativamente ad un corpo di riferimento concretamente rigido»... Sostituiamo a «corpo di riferimento» la nozione di «sistema di coordinate» di cui si vale la matematica; si può affermare che rispetto ad un sistema di coordinate rigidamente connesso alla vettura, il sasso descrive una retta, mentre, rispetto ad un sistema di coordinate rigidamente collegato al suolo stradale, descrive una parabola.

È evidente allora che non si può parlare di una traiettoria in senso assoluto, ma di traiettoria *rispetto* a un determinato corpo di riferimento. (La teoria generale della Relatività)

Già Galilei, in relazione ai fenomeni meccanici e a sistemi in moto rettilineo uniforme, aveva scoperto il «principio di relatività»: tutti i fenomeni si svolgono allo stesso modo, sia in un sistema in moto rettilineo uniforme, sia in un sistema in quiete; pertanto non è possibile stabilire, tra un sistema in moto e uno in quiete, quale dei due effettivamente si muova; dunque non esiste moto rettilineo uniforme assoluto, ma solo moto relativo.

Ritorniamo all'esempio del treno, che marcia con moto *uniforme*. Diremo che il suo moto è di traslazione (la vettura cambia di luogo rispetto al suolo stradale - e naturalmente rispetto alle rotaie fisse al suolo - senza subire rotazioni) e uniforme (perché il suo moto è a velocità e direzione costanti).

Supponiamo ora che un uccello voli per l'aria con un moto che, osservato dalla sede stradale, appaia rettilineo ed uniforme. Dal treno in corsa sembrerà che velocità e direzione del moto dell'uccello - moto pur sempre rettilineo ed uniforme - siano diversi.

In astratto si può dire che una massa (m) che si muova con moto rettilineo uniforme rispetto ad un sistema di coordinate K , avrà ugualmente moto rettilineo uniforme rispetto ad un sistema di coordinate K' , se questo si muove rispetto a K con moto traslativo uniforme.

Ne consegue che: se K è un sistema di coordinate galileiane, sarà anche galileiano ogni altro sistema K' , rispetto al quale K si muova di moto traslativo uniforme.

Le leggi della meccanica galileo-newtoniana hanno validità sia rispetto a K che a K' .

Possiamo ancora ulteriormente procedere verso la generalizzazione formulando la proposizione così:

“se K è un sistema di coordinate che si muove rispetto a K' con moto uniforme e non rotatorio, i fenomeni naturali si svolgono, rispetto a K' , precisamente con le stesse leggi generali come rispetto a K .”

In questo consiste il **Principio di Relatività Ristretta**.

Sicché, con la legge di trasformazione di Galilei, posto che, ad esempio, siano note le posizioni e la velocità di un viaggiatore nel sistema di coordinate connesso al pavimento del suo treno, supposto immobile, è sempre possibile individuarle in un altro sistema di riferimento, quale, ad esempio, quello connesso alla strada ferrata su cui si muove il treno. È sempre possibile, in generale, trovare le coordinate di eventi in un sistema, se esse sono note in un altro sistema.

Ci si soffermi ora sulla legge meccanica della somma delle velocità.

Si supponga che un treno si muova alla velocità di 90 km all'ora; esso percorrerà 1500 metri ogni minuto; un viaggiatore, immobile sul treno, percorrerà così 1500 metri di strada ferrata ogni minuto. Si supponga ora che il viaggiatore si muova all'interno del treno nella stessa direzione del moto del treno, percorrendo 80 metri a minuto.

Quale sarà la sua velocità per un osservatore che si trova fermo al suolo?

1500 + 80 metri al minuto, naturalmente rispetto alla strada ferrata.

È questo, appunto, il teorema della somma delle velocità indicato con la formula

$$W = v + w$$

dove W rappresenta la velocità del viaggiatore rispetto all'osservatore al suolo, v la velocità del treno e

w la velocità del viaggiatore all'interno del treno.

Pertanto supponendo che il viaggiatore si muova percorrendo nello stesso tempo gli 80 metri in direzione opposta a quella del movimento del treno, per quel teorema la sua velocità, per un osservatore al suolo, sarà di 1500-80 metri al minuto ($W = v - w$).

Ma è sempre valido tale teorema?

Esso è certamente verificato anche nel caso della propagazione delle onde sonore. Ma a ben vedere esso non è valido, apparentemente, in un caso, quello della propagazione della luce.

Naturalmente occorre rapportare il processo di propagazione della luce, come qualsiasi altro movimento, ad un corpo di riferimento rigido sistema di coordinate.

Poniamo come tale la sede stradale ferroviaria. Immaginiamo di aver creato attorno a questa un vuoto d'aria. Si lanci un raggio luminoso, lungo la sede stradale, con la velocità c .

Immaginiamo che la vettura ferroviaria corra nella stessa direzione del raggio luminoso, ma naturalmente con una velocità v di gran lunga minore.

Quale sarà la velocità di propagazione della luce rispetto alla vettura in corsa?

Dobbiamo evidentemente applicare la considerazione di modo che il raggio di luce tenga il posto del viaggiatore in movimento rispetto alla vettura.

Allora, invece della velocità w del viaggiatore rispetto alla sede stradale, avremo la velocità della luce rispetto alla sede stradale sicché sarà w la velocità della luce, e si avrà

$$w = c - v$$

La velocità di propagazione della luce rispetto alla vettura risulta pertanto minore di c .

Ma, nota Einstein, si sa che la luce si propaga in linea retta ad una velocità $c = 300.000$ km al secondo; si sa poi, dagli studi dell'astronomo olandese De Sitter, che tale velocità non può essere determinata dalla velocità del moto del corpo da cui la luce viene emessa; si sa pure, in base alle sperimentazioni dei due scienziati americani Michelson e Morley, che, esaminando la velocità della luce in due direzioni diverse, essa rimane comunque identica; e infine si sa, dalle notazioni di Lorentz e di Fitzgerald che non esiste velocità superiore a quella della luce, per cui «qualsiasi velocità sommata a quella della luce, dà sempre una velocità uguale a quella della luce».

Orbene, si rifletta: secondo il galileiano «principio di relatività», la legge della costanza della velocità di propagazione della luce nel vuoto dovrebbe avere la stessa validità, sia rispetto alla vettura in corsa, sia rispetto alla sede stradale; ma la teoria della somma delle velocità lo esclude, perché nel caso prima indicato la velocità di propagazione rispetto alla sede stradale è diversa da quella rispetto alla vettura in corsa (rispetto alla vettura, essa è minore di c).

Non c'è alternativa: o si nega il principio di relatività (che però è valido per tutte le leggi generali della natura) e si ammette la legge di propagazione della luce nel vuoto, oppure si sconfessa questa legge e si assume vero il principio di relatività.

Ma, si chiede Einstein, davvero non c'è alternativa?

Davvero non si può accogliere insieme quel principio e quella legge?

Poiché ogni fenomeno fisico avviene nello spazio e nel tempo, se si ammette che ogni sistema di coordinate ha un «suo» spazio e un «suo» tempo, cioè che spazio e tempo sono relativi al sistema di coordinate, e non assoluti, e se si ammette che in un sistema di coordinate spazio e tempo sono interdipendenti, allora si può mostrare sia la validità del principio galileiano di relatività, sia quella della legge di propagazione della luce.

Questo è il nucleo di quella che Einstein stesso ha definito **«teoria della relatività speciale, o ristretta»**.

Relatività del tempo e dello spazio

Bisogna allora dimostrare la relatività del «tempo»; ciò è possibile dimostrando la relatività della «simultaneità».

Come concepiamo la simultaneità?

Il binario della linea ferroviaria è stato colpito dalla folgore in due punti A e B , molto distanti l'uno dall'altro.

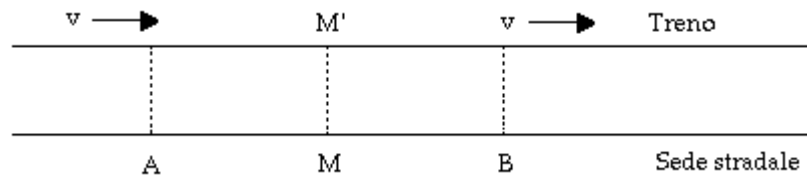
Suppongo che i due colpi siano avvenuti simultaneamente.

Dobbiamo riuscire a determinare la *simultaneità* in modo da poter stabilire sperimentalmente se i due colpi di fulmine siano stati contemporanei o no.

Il lettore potrà proporre di costatare la simultaneità così: si misuri, lungo le rotaie, la distanza tra A e B e nel punto medio M si collochi un osservatore munito di un apparecchio (per esempio, due specchi inclinati a 90°) con cui egli possa tener d'occhio contemporaneamente A e B . Se l'osservatore percepirà nello stesso istante i due bagliori della folgore, questi saranno simultanei.

Ma, osserva Einstein, l'esperimento sarebbe perfetto se sapessimo già prima che la luce impiega lo stesso tempo nel percorrere BM e AM ; cioè che essa percorre AM alla stessa velocità di quella con cui percorre BM ; per saperlo dovremmo misurare il tempo delle due percorrenze; ma anche posto tutto ciò si esamini il caso che segue:

fin qui abbiamo come corpo di riferimento la sede stradale ferroviaria. Supponiamo ora che sul binario marci con velocità costante c un lungo treno nella direzione indicata nella seguente figura:



I viaggiatori si valgono del treno come corpo rigido di riferimento (sistema di coordinate) al quale riferiscono tutti gli avvenimenti. Ogni avvenimento che si verifica lungo il binario, ha luogo anche in un determinato punto del treno.

Possiamo applicare la nozione di simultaneità rispetto al treno così come l'abbiamo applicata rispetto alla sede stradale ferroviaria.

Sorge allora il quesito:

le due scariche di folgore A e B , simultanee rispetto alla strada, sono anche simultanee rispetto al treno in corsa?

La risposta è decisamente negativa.

Se diciamo che le scariche di folgore in A e in B sono contemporanee, significa che i raggi luminosi emananti da A e da B si incontrano nel punto medio M della sede stradale. Ma agli avvenimenti A e B corrispondono anche due punti A e B sul treno. Sia M' il punto medio del tratto AB sul treno in corsa. Nel momento della scarica, osservata dalla sede stradale, il punto M' coincide con M , ma esso si sposta verso destra con la velocità (v) del treno. Se l'osservatore situato in M' sul treno non avesse velocità v , egli permanerebbe sempre in M e i bagliori uscenti da A e da B arriverebbero a lui simultaneamente, cioè coinciderebbero nella sua posizione.

Invece in realtà egli si sposta velocemente rispetto alla sede stradale, muovendo incontro al raggio proveniente da B e avanzando rispetto a quello proveniente da A .

Egli perciò dovrà vedere *prima* il raggio proveniente da B e *dopo* il raggio proveniente da A , e concluderà affermando che la scarica luminosa B è avvenuta prima della scarica luminosa A .

Di qui l'importante illazione: “*avvenimenti simultanei rispetto alla sede stradale non sono simultanei rispetto al treno, e viceversa*”; di qui la relatività della simultaneità, ogni sistema di riferimento ha il suo proprio tempo; un dato temporale ha senso solo perchè si determina il corpo di riferimento al quale esso va riportato.

Dunque un dato temporale non è assoluto, indipendente dallo stato di moto del sistema di riferimento.

Allora una legge meccanica è relativa ad un sistema di riferimento che abbia il «suo» tempo; ma essa può ritenersi valida anche in un altro sistema di riferimento, a condizione che si tenga conto che anche questo ha il «suo» tempo; pertanto può rimanere in piedi il principio galileiano di relatività, in modo che questo non contraddica la legge di propagazione della luce e si potrà pertanto dire che detta propagazione avviene sempre a 300.000 km al secondo.

Ma ogni sistema di coordinate non ha solo il suo «tempo», bensì anche il suo «spazio». Si deve mostrare quindi anche la **relatività dello spazio**; o meglio della **«distanza spaziale»**.

La cosa cambia se la distanza deve essere valutata dalla sede stradale. Indichiamo con A' e B' i punti del treno dei quali si cerca la distanza; sappiamo che rispetto alla sede stradale essi si muovono con velocità v . Dovremo individuare i punti A e B della sede stradale che a un determinato tempo t vengono osservati (da terra) in coincidenza con A' e B' . La distanza tra A e B si misura poi col regolo lungo la sede stradale.

A priori non si può esser certi che questa seconda misura dia lo stesso risultato della prima: misurata dalla sede stradale la lunghezza può essere diversa da quella misurata dal treno. E infatti: se il viaggiatore nel treno percorre nell'unità di tempo (misurata dal treno) lo spazio w , questo, misurato dalla strada, può non essere uguale a w .

Insomma è impossibile separare la distanza spaziale dal tempo; qualunque evento è, insieme, sia spaziale che temporale, indivisibilmente; perciò è un'astrazione determinare la distanza in cui ha luogo l'evento dal tempo in cui esso avviene.

Spazio e tempo non devono esser considerati né distinti né separati, ma un tutt'uno.

Se lo spazio viene individuato da tre coordinate spaziali x , y , z , e il tempo da t , allora bisogna parlare di un continuo a quattro dimensioni x , y , z , t ; e ogni evento deve esser considerato in queste quattro dimensioni, in queste quattro coordinate variabili relativamente ad ogni sistema di riferimento.

Pertanto, nota Einstein:

la meccanica classica riteneva, ma *arbitrariamente*, che:

- 1) la distanza di tempo tra due avvenimenti è indipendente dallo stato di moto del corpo di riferimento;
- 2) la distanza spaziale fra due punti di un corpo rigido è indipendente dallo stato di moto del corpo di riferimento;

cadute queste due ipotesi il dilemma (o il Principio di Relatività, o la legge di costanza di propagazione della luce nel vuoto) scompare, e con esso cade l'assunto dell'incompatibilità tra Relatività e legge di propagazione della luce.

Naturalmente per far ciò si devono «correggere» i ragionamenti relativi alla somma delle velocità. Conoscendo tempo e luogo di un evento rispetto alla sede stradale, com'è possibile determinare luogo e tempo dello stesso avvenimento rispetto al treno in corsa, senza che la legge di propagazione della luce contrasti col Principio di relatività?

Basta una legge che permetta la trasformazione delle grandezze di spazio e tempo di un fatto quando si passa da un sistema di riferimento all'altro.

Essa esiste, ed è **la legge di trasformazione di Lorentz**. Ogni avvenimento individuato rispetto a K (sistema, ad esempio, relativo alla strada ferrata) con valori x, y, z e t , può essere individuato, grazie ad un sistema di equazioni dette appunto «equazioni di Lorentz», con valori x', y', z' e t' rispetto a K' (sistema relativo al treno), conservando la verità che la propagazione della luce è costante sia rispetto a K che rispetto a K' .

Quali le conseguenze di questa teoria della relatività?

Poiché spazio e tempo sono interdipendenti e relativi ad uno specifico sistema di coordinate, un regolo ha una «misura» se sta fermo, e un'altra se è in movimento; infatti in moto esso si accorcia; inoltre le lancette di un orologio in quiete hanno una velocità superiore rispetto a quella che esse hanno quando l'orologio è in movimento. Ma la conseguenza importante si ha nella concezione della massa.

La meccanica classica distingue l'energia dalla massa e stabilisce due principi: quello della conservazione dell'energia e quello della conservazione della massa.

La relatività invece fonde i due concetti, e insieme i due principi.

La massa (quantità di materia) non è più invariante, ma varia con l'aumento della velocità di un corpo in moto e aumenta proporzionalmente all'energia cinetica del corpo. Pertanto ogni energia ha una massa e ogni massa ha un'energia; sicché, in generale, c'è equivalenza di materia ed energia: in ogni corpo la massa può esser designata col valore della sua energia, e viceversa.

Un corpo in riposo possiede una massa determinata, la cosiddetta *massa di riposo*. La meccanica insegna che qualsiasi corpo oppone resistenza ad un mutamento del *suo* moto.

Ma la teoria della relatività ci dice qualcosa di più. La resistenza che i corpi oppongono ad un mutamento è tanto più forte non soltanto quanto maggiore è la loro massa di riposo, ma altresì quanto maggiore è la loro velocità.

Corpi dotati di velocità vicine a quella della luce opporrebbero resistenze enormi alle forze esterne. Secondo la meccanica classica, la resistenza di un dato corpo è invariabile e caratterizzata unicamente dalla sua massa.

Nella teoria della relatività la resistenza dipende da ambo i fattori: massa di riposo e velocità del corpo. La resistenza diventa infinitamente grande, allorché la velocità raggiunge quella della luce. Cosa che è rilevabile dall'osservazione degli atomi del radio, ad esempio, o di qualunque materia radioattiva; essi infatti si muovono a velocità enormi; c'è bisogno pertanto di forze molto grandi per «deviare» i loro elettroni dalla loro orbita, in modo che l'atomo si disintegri. Sicché tra due corpi che possiedono la stessa massa di riposo, offre maggiore resistenza quella dotata di energia cinetica maggiore.

Di qui altre conclusioni: poiché ogni energia ha una massa e ogni massa ha un'energia, un pezzo di ferro caldo, che «incorpora» più energia di uno freddo, pesa più di quello freddo, e inoltre il sole, emettendo energia coi suoi raggi, con la radiazione perde massa; e ancora, data l'unificazione del principio di conservazione della massa con quello di conservazione dell'energia, è possibile stabilire l'equazione

$$E = mc^2$$

dove c è la velocità della luce.

La teoria della relatività generale

Ma Einstein non limitò la sua indagine teorica alla scoperta della relatività del tempo e dello spazio. Egli infatti si pose questo quesito:

“le leggi naturali possono avere un'identica formulazione e una stessa validità rispetto a qualunque corpo di riferimento mediante la trasformazione di Lorentz, ma solo limitatamente ai sistemi cosiddetti galileiani, il cui moto è rettilineo ed uniforme; ora, è possibile delineare una teoria della relatività che sia valida per tutti i sistemi, anche per quelli che si muovono con moto di diversa natura? Ossia, dato che la teoria della relatività finora delineata è «ristretta» ad un caso particolare di sistemi in movimento, è possibile formulare una teoria «generale», valida ad esempio anche per i sistemi dotati di moto uniformemente accelerato?”

La risposta di Einstein fu positiva:

«È possibile stabilire che tutti i sistemi di riferimento (K , K' ...ecc) sono equivalenti ai fini della descrizione dei fenomeni naturali, qualunque sia la loro condizione di moto».

Poniamoci sul treno in moto uniforme, sediamoci; seduti, non avvertiremo il moto, anzi potremo credere che la vettura stia ferma e che sia la strada a correre sotto di noi, cosa, questa, conforme al Principio speciale di relatività. Ora, improvvisamente, per una brusca frenata, il moto non è più uniforme: io che viaggiavo seduto subisco una brusca spinta in avanti.

L'accelerazione - positiva o negativa - della vettura si manifesta nel comportamento del mio corpo rispetto a questa: comportamento del tutto diverso dall'altro precedentemente descritto, per cui sembra doversi escludere che rispetto alla vettura che si muove *non uniformemente* valgano le stesse leggi meccaniche valide per la vettura in quiete o in moto uniforme. È chiaro allora che rispetto alla vettura che viaggia con moto non uniforme non vale il principio di Galilei).

Per sciogliere questo nodo Einstein invita a considerare un nuovo concetto, cioè quello di «campo».

Se lasciamo cadere a terra un sasso e ci chiediamo il perché del fenomeno, in genere rispondiamo: perché esso è attratto dalla terra.

La fisica moderna dà una risposta alquanto diversa, giacché lo studio dei fenomeni elettromagnetici ci impone di concludere che in natura in ogni azione a distanza interviene un mezzo intermediario.

Per esempio, se una calamita attrae un pezzo di ferro non ci si deve limitare a credere che essa abbia una diretta azione sul ferro attraverso lo spazio vuoto, ma si deve immaginare, grazie a Faraday, che esso suscita nello spazio circostante una certa realtà fisica che si chiama «campo magnetico».

Ed è questo campo che agisce sul pezzo di ferro, e lo fa muovere verso la calamita. In modo analogo si concepisce anche la forza di gravitazione. La terra agisce sul sasso indirettamente: essa produce intorno a sé un campo di gravitazione che agisce sul sasso e ne provoca la caduta. Via via che ci si allontana dalla Terra, l'intensità di azione su un corpo diminuisce secondo una legge ben precisa. Ciò significa per noi che la legge che regola le proprietà spaziali del campo gravitazionale deve essere esattamente determinata in modo da descrivere con precisione la progressiva diminuzione dell'azione gravitazionale via via che aumenta la distanza.

Possiamo immaginare il fenomeno così: il corpo, per esempio la Terra, comporta intorno a sé un campo; sarà appunto la legge che regola le proprietà spaziali dei campi di gravitazione a determinare intensità e direzione del campo in zone via via più lontane dal corpo.

Il campo gravitazionale, a differenza dell'elettrico e del magnetico, presenta una sua caratteristica peculiare assai importante per quanto diciamo appresso. I corpi, che si muovono sotto l'azione esclusiva del campo gravitazionale, acquistano *un'accelerazione che non dipende affatto né dalla materia né dallo stato fisico del corpo*.

Un pezzo di piombo e un pezzo di legno cadono nello stesso identico modo, in uno spazio vuoto d'aria, se partono ambedue dallo stesso stato di quiete o con la stessa velocità iniziale. Se in un campo gravitazionale l'accelerazione *non dipende* dalla natura del corpo né dal suo stato fisico, il *rapporto tra massa inerziale e massa ponderale deve essere uguale per tutti i corpi*. Quindi la massa ponderale (o gravitazionale) di un corpo è uguale alla sua massa inerziale.

La meccanica classica accettò questa legge, ma senza offrirne un'interpretazione. Un'interpretazione soddisfacente si può avere solo riconoscendo che una stessa qualità di un corpo si manifesta secondo le circostanze come *inerzia* o come *peso*.

Sulla base di questo concetto di «campo» si faccia questa ipotesi:

immaginiamo una vasta zona di spazio vuoto abbastanza lontano dai corpi celesti e da altre masse considerevoli, sia, per noi, corpo di riferimento un'immaginaria cabina, entro la quale si trovi un osservatore munito di apparecchi. Naturalmente per questo osservatore non c'è gravità: egli deve essere assicurato con corde al pavimento, altrimenti al primo urto con questo volerebbe verso il soffitto della cabina.

Supponiamo che al centro del tetto, all'esterno, sia infisso saldamente un gancio a cui venisse legata una corda; supponiamo ancora che su questa corda agisse un essere che con forza costante tiri in su. La cabina, e con essa l'osservatore, comincerà a salire con moto uniformemente accelerato, e se potessimo collocarci in un altro sistema di riferimento non collegato alla cabina, vedremmo che questa - con l'osservatore interno - acquisterebbe una velocità enormemente crescente. Ma l'osservatore nella cabina come giudicherà il movimento?

L'accelerazione della cabina gli viene comunicata dal pavimento mediante una spinta che egli riceve, se è in piedi, attraverso le gambe. Egli starà ritto nella cabina come qualunque uomo nella stanza della sua casa sulla terra. Se lascia andare un oggetto che aveva in mano, questo non subirà più l'accelerazione impressa dal moto della cabina, ma cadrà sul pavimento con moto relativo accelerato. L'osservatore si convincerà che l'accelerazione verso il pavimento sarà sempre la stessa, qualunque sia il corpo col quale egli fa questo esperimento. Così l'uomo in cabina, utilizzando la cognizione che egli ha del campo gravitazionale, trae la conclusione che egli si trova con la cabina in un campo gravitazionale costante nel tempo. Per un momento egli rimarrà meravigliato dal fatto che la cabina non sia attirata in questo campo gravitazionale, ma poi si accorgerà del gancio fissato sul tetto e della fune che vi è legata e ne trarrà la conclusione logica che la cabina è immobile nel campo gravitazionale.

Dall'esempio indicato della cabina, dunque, si può ricavare il **principio di equivalenza**:

gli effetti di un campo gravitazionale uniforme, quello della terra, e quelli prodottisi in un sistema uniformemente accelerato, quello della cabina, sono equivalenti; infatti è possibile stabilire che se la cabina subisce un movimento accelerato di $m. 9,81$ al secondo quadrato, si verificano in essa gli stessi fenomeni che hanno luogo sulla terra.

Dunque è possibile indicare, in generale, delle equazioni valide per individuare un fenomeno in qualsiasi sistema di riferimento, qualunque sia il tipo del suo moto.

Pertanto un qualsivoglia fenomeno che ha luogo in un sistema di coordinate K , attraverso calcoli può esser determinato nei termini in cui esso viene considerato da un osservatore in un sistema K' che si muova di moto accelerato rispetto a K , supponendo che su K' agisca un campo gravitazionale che influisca in termini conoscibili sull'osservazione del fenomeno stesso.

Ricordiamo solo le conseguenze, indicate pure da Einstein, relative al comportamento di regoli situati su un corpo rotante (dunque non in moto rettilineo) su se stesso.

Un regolo posto al bordo del disco, tangenzialmente, considerato da un osservatore fuori del disco e in quiete su un corpo di riferimento non rotante, è più corto di quello «uguale» che l'osservatore ha in mano; e se un operatore posto sul disco misurasse con quel regolo circonferenza e diametro del disco stesso e ponesse in rapporto i due valori, otterrebbe un numero maggiore di 3,14, che sarebbe quello - costante - che si otterrebbe dal rapporto se con lo stesso regolo si misurasse la circonferenza ed il diametro dello stesso disco in stato di quiete.

Ma la cosa più importante è che su un disco rotante il regolo con cui si effettuano le misurazioni cambierà grandezza a seconda del punto del disco in cui viene usato, e pertanto viene compromesso il rigore della geometria euclidea, in quanto su quel disco è impossibile utilizzare, ad esempio, il concetto euclideo di linea. Tutto ciò comporta che non è possibile definire le coordinate spaziali di un punto qualsiasi rispetto al disco, che si basano appunto sulla geometria euclidea, e che sono valide solo per un sistema riferito a un corpo rigido e immobile o supposto tale.

Di qui, afferma Einstein, non bisogna trarre la conclusione che la Relatività generale è contraddittoria con se stessa e con la Relatività ristretta; occorre piuttosto abbandonare le coordinate cartesiane e la concezione euclidea di spazio. Nella sua ricerca egli trova nelle coordinate gaussiane la possibilità di estendere il criterio delle coordinate cartesiane anche a continui non euclidei.

Analizzando più nel dettaglio tale argomento, si può descrivere la Relatività nel seguente modo.

Il tempo assoluto

La luce è un'onda luminosa che ha la capacità di propagarsi attraverso il vuoto; perciò è facile dedurre per via teorica la sua velocità c . Ma risulta evidente che anche cambiando sistema di riferimento essa non varia.

Si può quindi riscontrare una contraddizione tra la teoria della meccanica classica, che affermava che, tramite le trasformazioni di Galileo, la velocità di un qualsiasi oggetto varia cambiando sistema di riferimento, e la teoria dell'elettromagnetismo.

Essendo ambedue dimostrate grazie ad un campo di applicabilità molto vasto, risulta che una delle due presenta un errore o un'incompletezza che va modificata al fine di eliminare la contraddizione.

Un'ipotesi alla base della fisica di quel periodo (considerata corretta ed assoluta, ma in realtà non così ovvia come sembrava), era l'esistenza di un tempo assoluto, cioè un tempo che scorre immutabile ed indifferente, identico in tutti i sistemi di riferimento.

Grazie all'intervento di Einstein si riuscì a dimostrare che, in realtà, esso era un concetto errato.

Bisogna innanzitutto spiegare cosa significa misurare un intervallo di tempo: ossia formulare due giudizi di simultaneità. Ad esempio si può parlare di simultaneità quando nel momento in cui un atleta, simultaneamente allo sparo del giudice, comincia una corsa, il cronometro segna un certo

valore, mentre all'arrivo, nel momento che l'atleta attraversa il traguardo, ne segna un altro. In ambedue i casi si verifica l'applicazione del concetto di simultaneità tra i due eventi.

Nel caso in cui, però, si debba verificare il fenomeno con oggetti molto distanti con velocità prossime a quella della luce, questo tipo di misurazione può risultare molto meno semplice.

Einstein risolse la contraddizione proponendo di rifondare la fisica partendo da due soli postulati:

- **Le leggi e i principi della fisica hanno la stessa forma in tutti i sistemi di riferimento inerziali.**
- **La velocità della luce è la stessa in tutti i sistemi di riferimento inerziali, in modo indipendente dal sistema stesso o della sorgente da cui la luce è emessa.**

Formulato il postulato sulla costanza della velocità della luce si può ora stabilire effettivamente se due oggetti siano o meno simultanei.

Per definizione si può dire che due fenomeni F_1 e F_2 sono simultanei se la luce che essi emettono giunge nello stesso istante in un punto P equidistante dai punti P_1 e P_2 in cui si verificano i due fenomeni.

Il giudizio di simultaneità, però, risulta relativo dato che, cambiando sistema di riferimento con uno in moto rispetto al primo, i due eventi non risultano più simultanei basandosi sull'invarianza della velocità della luce. Ne consegue che il concetto di simultaneità assoluta è impossibile e che quindi non si può definire un tempo assoluto che scorra uguale per tutti gli osservatori.

Verificato ciò, ne derivano alcune conseguenze che sono: **la dilatazione dei tempi, la contrazione delle lunghezze nella direzione del moto relativo e l'invarianza delle lunghezze perpendicolari al moto relativo.**

La dilatazione dei tempi

La durata di qualunque fenomeno risulta minima se è misurata nel sistema di riferimento S solidale con il fenomeno stesso, cioè in quel sistema in cui il fenomeno inizia e finisce nello stesso punto. In tutti i sistemi di riferimento in moto rispetto a S , però, la durata del fenomeno risulta maggiore e la misura di uno stesso intervallo di tempo dipende dal sistema di riferimento in cui questo è misurato. Anche questo fatto conferma la non esistenza del tempo assoluto in fisica.

La dilatazione dei tempi è espressa dalla formula:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

Si può definire **intervallo di tempo proprio** (Δt) la durata di un fenomeno che viene misurato in un sistema di riferimento solidale con esso.

Indicato inoltre con il simbolo β il rapporto tra il modulo della velocità di un oggetto e la velocità della luce nel vuoto,

$$\beta = v/c$$

prende il nome di coefficiente di dilatazione nel vuoto,

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (\beta)^2}}$$

La contrazione delle lunghezze nella direzione del moto relativo

Se un osservatore effettua la misurazione della lunghezza di un segmento in un dato sistema di riferimento e un secondo osservatore compie la stessa azione in un secondo sistema in moto rispetto al primo, ne risulterà che nel secondo la lunghezza del segmento è uguale alla differenza tra le posizioni dei suoi estremi misurate nello stesso intervallo di tempo, rispetto agli orologi di quel sistema. Effettuato ciò, risulta che all'intervallo di tempo $\Delta t'$, che è l'intervallo di tempo <<proprio>> di quel sistema, corrisponde un intervallo di tempo Δt più lungo. Ne consegue che la **lunghezza propria** del segmento nel secondo sistema risulta minore.

Come per il tempo, anche lo *spazio assoluto* della meccanica classica non esiste, poiché lo stesso oggetto ha misure diverse a seconda del sistema di riferimento.

L'invarianza delle lunghezze perpendicolari al moto relativo

Dimostrata la dilatazione degli intervalli di tempo e la contrazione delle distanze poste nella direzione del moto di un secondo sistema di riferimento non solidale, è lecito dubitare che un segmento posto in direzione perpendicolare ad un sistema di riferimento in movimento, ad esempio un treno, appaia uguale ad ambedue i sistemi di riferimento.

Si può procedere per assurdo asserendo che non sia vera l'affermazione che si vuole dimostrare.

Utilizzando l'esempio del treno che passa in una galleria abbiamo due situazioni distinte:

Il riferimento del terreno: in esso la galleria è ferma e il treno è in movimento. Secondo l'ipotesi della contrazione il treno, visto da terra, appare più stretto e più basso di prima: non c'è dubbio che riesca a passare sotto la galleria.

Il riferimento del treno: in esso il treno è fermo e la galleria è in movimento. Ora sono l'altezza e la larghezza della galleria a diminuire, mentre quelle del treno rimangono costanti. Il risultato dovrebbe essere un drammatico incidente quando il treno tenta di entrare in una galleria troppo piccola.

Naturalmente ciò è impossibile o non avvenga a seconda del sistema di riferimento che si adotta. L'unico modo per rimediare a tale assurdità è ammettere che le dimensioni trasversali rimangono uguali.

Le trasformazioni di Lorentz

Nella meccanica classica per indicare le trasformazioni da un sistema ad un altro, venivano utilizzate le trasformazioni di Galileo che presupponevano, però, l'esistenza di un tempo assoluto. Esse, quindi, non sono corrette per indicare le trasformazioni da un sistema di riferimento ad un

altro. Sono quindi sostituite da quelle formulate dal fisico olandese Lorentz note appunto come *trasformazioni di Lorentz*

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad z' = z$$

$$y' = y$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

La Relatività ristretta

Per descrivere un qualsiasi fenomeno fisico si deve partire dal fatto che un certo fenomeno è avvenuto in un certo istante, in un certo punto dello spazio. Introdotto quindi un sistema di riferimento (t, x, y, z) in cui t indica l'istante in cui tale fenomeno è avvenuto e le altre tre lettere le coordinate spaziali del luogo dove esso è avvenuto, si definisce **evento** la quaterna ordinata (t, x, y, z) .

La descrizione dello spazio con tre assi cartesiani particolari, però, non ha alcun significato fisico; è soltanto una scelta arbitraria che può variare da osservatore ad osservatore.

Un discorso analogo, nella teoria della relatività, si può fare pure per l'intervallo di tempo Δt .

Dati due eventi separati dagli incrementi delle quantità $\Delta t \Delta x \Delta y \Delta z$, esiste una quantità chiamata **intervallo invariante $\Delta\sigma$ equivalente alla radice della quantità**

$$(\Delta\sigma)^2 = (c\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta y)^2 - (\Delta z)^2$$

Nel sistema di riferimento solidale con il fenomeno dove i due eventi di inizio e di fine del fenomeno hanno le stesse coordinate spaziali, mentre la sua durata Δt è pari all'intervallo di tempo proprio τ ,

$$\Delta t = \Delta\tau \quad \text{con} \quad \Delta x = \Delta y = \Delta z = 0$$

ne risulta quindi che

$$\Delta\sigma = c\Delta\tau$$

In definitiva lo spazio quadrimensionale (t, x, y, z) nel quale l'intervallo invariante tra due eventi è

$$(\Delta\sigma)^2 = (c\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta y)^2 - (\Delta z)^2$$

prende il nome di **Spazio-tempo**.

L'equivalenza tra massa ed energia

Nella meccanica classica vi sono due leggi separate ed indipendenti che riguardano la conservazione della massa e la conservazione dell'energia. Nella relatività si scopre, invece, che la grandezza fisica <<massa>> non si conserva separatamente dall'energia. La massa non è altro che una forma di energia che si somma all'energia cinetica e potenziale enunciando la conservazione dell'energia meccanica.

La teoria della relatività afferma che, se un corpo assume una quantità di energia E , la sua massa non si conserva bensì aumenta della quantità

$$\Delta m = \frac{E}{c^2}$$

al contrario, nel momento in cui il corpo perde energia, la sua massa diminuisce. È stato compiuto un esperimento per dimostrare che la massa di un corpo a cui è ceduta l'energia E , aumenta proprio della quantità $\frac{E}{c^2}$.

Si è partiti dal fatto che la luce non trasporta solamente energia, ma pure una quantità di moto $p = E/c$.

Preso un corpo di massa m , fermo in un sistema di riferimento S si fa in modo che esso assorba nello stesso istante due lampi di luce provenienti da due direzioni opposte trasportanti entrambi una quantità di energia $p = E/2$.

Questo implica che entrambi cedano al corpo una quantità di moto

$$p = \frac{E}{2c}$$

Poiché esse hanno stesso modulo, stessa direzione, ma versi opposti, la loro somma vettoriale è uguale al vettore nullo; di conseguenza dopo l'assorbimento di energia il corpo rimane fermo nello spazio.

Osservando il fenomeno da un secondo sistema di riferimento in moto rispetto al primo, però, si nota che la somma vettoriale non risulta uguale al vettore nullo ma pari al doppio componente orizzontale p'_x di uno dei due vettori.

$$p'_x = \frac{vE}{2c}$$

Ne consegue che la quantità di moto del corpo aumenta della quantità $\Delta p' = vE/c^2$. Poiché il moto del corpo, prima di ricevere i due pacchetti, aveva moto $p'_1 = mv$ in seguito il moto p'_2 dopo aver ricevuto i "pacchetti" sarà $p'_2 = mv + vE/c^2$.

Si può osservare un fatto strano: pur essendo cambiata la quantità di moto, la velocità rimane uguale; di conseguenza l'unica grandezza ad essere cambiata non può che essere la sua *massa*.

Il corpo ha quindi una nuova massa $m'v$.

$$p'_2 = mv + vE/c^2 = m'v \qquad m' - m = E/c^2$$

In questo modo abbiamo dimostrato quello che voleva dimostrare.

Grazie a questa formula si può affermare che la massa stessa è una forma di energia che scompare quando compare energia e viceversa. Tutte le trasformazioni sono regolate dalla **relazione di Einstein** $E=mc^2$. Ne risulta quindi che un corpo fermo possiede un'energia $E_0 = m_0 c_0^2$ che prende il nome di **energia di quiete o riposo**.

LA RELATIVITA' GENERALE

La teoria della relatività ristretta nasce per accogliere al suo interno l'elettromagnetismo classico, infatti non a caso la riflessione sull'invarianza della velocità della luce nel vuoto è uno dei punti di partenza da cui poi si è sviluppata tutta la teoria.

Fin dall'inizio, si pose il problema se fosse possibile introdurre l'attrazione gravitazionale nella teoria della relatività ristretta e nello stesso tempo Einstein si chiese se fosse possibile ampliare il primo dei due assiomi della relatività ristretta secondo cui le leggi fisiche hanno la stessa forma in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Infine si rese conto che i due problemi si fondevano in uno unico e la sua risoluzione costituiva l'ossatura della nuova *relatività generale*, che andava a completare quella ristretta.

La massa gravitazionale e la massa inerziale sono sempre direttamente proporzionali tra loro e grazie a questa proprietà sono state scelte delle unità di misura in modo che esse risultino addirittura uguali. Indipendentemente dalla loro massa e dal materiale da cui sono costruiti, l'uguaglianza tra le masse giustifica il fatto che tutti i corpi che si trovano in una stessa zona di spazio risentono della stessa accelerazione di gravità.

Il modulo della forza di interazione gravitazionale tra un pianeta e un punto materiale di massa m_g e massa inerziale m_i posto ad una distanza r dal centro del pianeta è:

$$F = G \frac{M_g m_g}{r^2}$$

dove M_g è la massa gravitazionale del pianeta G è la costante di gravitazione universale.

L'accelerazione del punto materiale dovuta alla forza gravitazionale si può calcolare grazie al secondo principio della dinamica e corrisponde all'equazione:

$$F = m_i a$$

Sostituendo questa formula con la precedente e ricavando da questa l'accelerazione a , si ottiene

$$a = G \frac{M_g m_g}{r^2 m_i}$$

In quest'ultima espressione si potrebbe pensare che l'accelerazione possa dipendere dal rapporto m_g / m_i e che quindi potrebbe variare da corpo a corpo, ma con accurate misure sperimentali si scopre che esso equivale ad **1**, perciò l'equazione risulta quindi:

$$a = G \frac{M_g}{r^2}$$

poiché l'accelerazione dipende quindi solamente dalle costanti G e M_g se ne deduce che anche essa sia una costante uguale per tutti i corpi.

È possibile effettuare alcuni esperimenti ideali con i quali si è in grado di simulare l'esistenza di un campo gravitazionale o eliminarlo e proprio grazie a questi Einstein fu in grado di formulare uno degli assiomi fondamentali della nuova teoria della relatività generale: **il principio di equivalenza**, che afferma che in una zona delimitata dello spazio-tempo è sempre possibile scegliere un opportuno sistema di riferimento in modo da simulare l'esistenza di un campo gravitazionale uniforme o reciprocamente, in modo da eliminare l'effetto della forza di gravità.

Grazie a questo principio Einstein poté fare una serie di riflessioni tramite le quali guardò alla fisica ed in modo particolare alla gravità, in un modo assolutamente nuovo. Il fisico riuscì, infatti, finalmente, ad ampliare il primo assioma della relatività ristretta, considerando i sistemi inerziali non più "privilegiati" rispetto agli altri sistemi di riferimento poiché quello che avviene al loro interno si verificava tranquillamente anche in un sistema accelerato o in uno in caduta libera.

Einstein formulò, quindi, il **principio di relatività generale** in cui diceva che le leggi della fisica hanno la stessa forma in tutti i sistemi di riferimento.

In seguito, il fisico tedesco, riuscì a superare anche il secondo postulato, secondo cui la velocità della luce è la stessa in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Se la luce si propaga in linea retta con velocità costante in un sistema di riferimento, passando ad uno accelerato rispetto al primo, **essa risulterà avere una traiettoria curva**.

Grazie a questi punti di partenza Einstein fu in grado di formulare una teoria organica e completa che prese il nome di **teoria della relatività generale** che si basava su due assiomi fondamentali:

- La presenza di masse incurva lo spazio tempo
- I corpi soggetti alla forza di gravità devono essere considerati come particelle libere, che si muovono seguendo le *geodetiche* dello spazio.

Poiché la teoria della relatività ristretta non prende in considerazione l'attrazione gravitazionale tra le masse, lo spazio-tempo di questa viene considerato piatto. Nella generale è importante conoscere la distribuzione delle masse poiché, come si vedrà, esse influenzano la curvatura dello spazio-tempo.

Il termine spazio-tempo, in realtà, è una definizione non proprio corretta poiché dal punto di vista geometrico non si parla di altro che spazi a quattro dimensioni.

Viene formulata, quindi, una concezione nuova di geometria, in cui non vale il quinto postulato di Euclide ossia che *per un punto esiste una sola retta parallela ad una retta data*. Queste nuove geometrie prendono il nome di "non euclidee" e possono essere di due tipi: *iperboliche* e *ellittiche*. Nelle prime per un punto esterno ad una retta è possibile condurre infinite rette parallele, mentre nelle seconde non esistono rette parallele ad una retta data passanti per un punto esterno ad essa. Esse hanno una proprietà particolare che è la *curvatura* che risulta positiva negli spazi con geometria ellittica, negativa negli altri.

Nel complesso essi si chiamano **curvi**, mentre quello Euclideo o quello di Minkowski hanno curvatura nulla e vengono definiti piatti.

Di rilevante importanza è conoscere la distribuzione delle masse dato che esse influiscono sulla curvatura dello spazio-tempo: difatti le zone più vicine ad una massa presentano una curvatura più accentuata.

Prendono il nome di **Geodetiche** le curve di minima lunghezza, che hanno la funzione di unire i vari punti: esse sono segmenti di retta nella geometria euclidea, mentre in uno spazio-tempo sferico assumono la forma di archi di circonferenza massima.

Una volta nota la distribuzione delle masse si è in grado di calcolare la geometria dello spazio-tempo grazie all'equazione di campo di Einstein che è il cuore della sua teoria.

Tra le previsioni teoriche della relatività generale ve ne è una particolarmente affascinante: se la geometria dello spazio è determinata dalla distribuzione delle masse e se tale distribuzione viene modificata, si ha di conseguenza una variazione della geometria dello spazio-tempo che, però, non può essere istantanea in tutto l'universo ma si propaga dal punto in cui si è generata con la velocità della luce c . Tale propagazione prende il nome di **onda gravitazionale**.

Una conseguenza della curvatura dello spazio è la deflessione gravitazionale della luce. La luce subisce una deflessione in presenza di un campo gravitazionale e quindi in presenza della curvatura dello spazio-tempo. Una conseguenza che si può osservare, ad esempio è che alcune stelle osservabili vengono viste in una posizione diversa rispetto a quella che realmente occupano. Ciò dimostra la variazione della traiettoria percorsa dalla luce.

Secondo la teoria della relatività generale, la luce trasporta energia, ma poiché essa ci giunge con una frequenza minore di quella con cui è stata emessa e poiché nell'ambito della luce visibile il rosso è il colore a cui corrisponde la frequenza minore, questo fenomeno prende il nome di spostamento verso il rosso o in inglese redshift gravitazionale.

APPENDICE B: I PROBLEMI DI HILBERT

Le osservazioni di carattere metodologico premesse da Hilbert al suo elenco di problemi, sono illuminanti sulla sua concezione della Matematica e del suo sviluppo "È innegabile il grande significato di determinati problemi per il progresso della scienza matematica in generale e il ruolo importante che essi giocano nel lavoro del singolo ricercatore", affermava Hilbert. Un matematico francese ha detto una volta che una teoria matematica non si può considerare completa finché non sia stata resa chiara al punto da poter essere spiegata al primo che passa per la strada. Lo stesso si può dire di un buon problema matematico: semplice da enunciarsi, e tuttavia intrigante, difficile ma non del tutto inabborabile. L'insuccesso nell'affrontare un problema dipende spesso "dalla nostra incapacità di riconoscere il punto di vista più generale dal quale il problema che abbiamo di fronte

ci appare come un singolo anello in una catena di problemi collegati fra loro” . Trovato il giusto livello di generalità, non solo il problema si rivela più accessibile ma spesso troviamo anche i metodi adatti a risolvere problemi ad essere collegati. L'illimitata fiducia nelle capacità della ragione umana portava Hilbert a enunciare una sorta di "legge generale" del nostro pensiero, a stabilire come un assioma che qualunque problema matematico doveva essere suscettibile di soluzione. "In Matematica non c'è alcun Ignorabimus!" affermava (troppo) ottimisticamente Hilbert, rovesciando il celebre detto di Emil Du Bois-Reymond.

Il teorema di finitezza

Il primo lavoro di Hilbert sulle funzioni invarianti lo portò a dimostrare nel 1888 il suo famoso teorema di finitezza. Vent'anni prima **Gordan** aveva dimostrato il teorema della finitezza dei generatori per le forme binarie usando un complesso approccio computazionale. I tentativi di generalizzare questo metodo per funzioni con più di due variabili fallirono, proprio a causa delle difficoltà di calcolo. Lo stesso Hilbert cercò all'inizio di seguire il sistema di Gordan, ma ben presto capì di dover intraprendere una strada del tutto diversa. Dimostrò così il **teorema di finitezza** di Hilbert: un metodo per dimostrare che esiste un insieme di generatori finito per un numero di variabili qualsiasi, ma in forma totalmente astratta: pur dimostrandone l'esistenza, non si fornisce un sistema per costruirlo. Hilbert inviò il suo lavoro ai *Mathematische Annalen*. **Gordan**, l'esperto sulla teoria degli invarianti per i *Mathematische Annalen*, non riuscì ad apprezzare il rivoluzionario teorema di Hilbert e rifiutò l'articolo, criticandone l'esposizione, a suo dire poco esaustiva. Il suo commento fu: "Questa è teologia, non matematica!" Tuttavia **Klein** riconobbe l'importanza del lavoro di Hilbert, e gli garantì la pubblicazione, senza alcun cambiamento. Spronato da Klein e dai commenti di **Gordan**, Hilbert in un secondo articolo espanse il suo metodo, fornendo stime sul grado massimale dell'insieme minimo dei generatori, e lo inviò di nuovo agli *Annalen*. Dopo aver letto il manoscritto, **Klein** gli scrisse, dicendo: "Senza dubbio questo è il lavoro più importante sull'algebra generale che gli *Annalen* abbiano mai pubblicato".

Assiomatizzazione della geometria

Il lavoro *Fondamenti di geometria*, pubblicato da Hilbert nel 1899, sostituisce agli assiomi di Euclide un insieme formale, composto di 21 assiomi, che evita le contraddizioni derivanti da quello di Euclide. Indipendentemente e contemporaneamente, uno studente statunitense di 19 anni, **Robert Moore** pubblicò un insieme di assiomi equivalenti. È interessante notare che, sebbene alcuni assiomi siano gli stessi, qualche assioma di Moore è un teorema nel sistema di Hilbert, e viceversa.

I 23 problemi

Dopo aver risolto brillantemente i problemi della geometria, Hilbert si accinse a fare lo stesso con la matematica. Riconoscendo comunque l'impresa superiore alle sue sole forze, preparò una lezione dal titolo "**I problemi della matematica**" per il *Secondo Congresso Internazionale di Matematica*.

Eccone l'introduzione:

Chi di noi non sarebbe felice di sollevare il velo dietro cui si nasconde il futuro; di gettare uno sguardo ai prossimi sviluppi della nostra scienza e ai segreti del suo sviluppo nei secoli a venire? Quali saranno le mete verso cui tenderà lo spirito delle future generazioni di matematici? Quali

metodi, quali fatti nuovi schiuderà il nuovo secolo nel vasto e ricco campo del pensiero matematico?

Il discorso venne pronunciato a Parigi durante il Congresso, dove Hilbert introdusse i suoi famosi 23 problemi: anche se alcuni vennero risolti in breve termine, altri sono stati e continuano ad essere una sfida per i matematici.

Con questa iniziativa, Hilbert diede il via alla scuola formalista, una delle tre scuole della matematica del 1900. Secondo il formalismo la matematica è un gioco privo di significato in cui si gioca con contrassegni privi di significato secondo regole formali concordate in partenza. Essa è quindi un'attività autonoma del pensiero. Nonostante le buone intenzioni, il suo tentativo di assiomatizzazione della matematica era destinato a fallire: nel 1931 Godel dimostrò come un sistema formale che non fosse contraddittorio non potesse dimostrare la sua completezza. Tuttavia nulla si dice riguardo la dimostrazione da parte di un differente sistema formale sulla completezza della matematica. Tra i suoi studenti vi furono **Hermann Weyl**, il campione di scacchi **Lasker** e **Ernst Zermelo**. John Voion Neumann fu suo assistente.

Spazio di Hilbert

Circa nel 1909, Hilbert si dedicò allo studio delle equazioni differenziali ed integrali: i suoi lavori portarono direttamente allo sviluppo della moderna analisi funzionale. Per questi suoi studi, Hilbert introdusse il concetto di spazio a infinite dimensioni, chiamato in seguito **spazio di Hilbert**. Oltre ad essere di grande utilità nello studio della della meccanica quantistica, gli permise di contribuire allo sviluppo della teoria cinetica dei gas e alla teoria della radiazione. In seguito, **Stefan Banach** ampliò il concetto, definendo gli spazi di Banach, fondamento dell'assiomatizzazione della teoria delle funzioni integrali.

Ponendo in primo piano il rigore nelle dimostrazioni come requisito per una completa soluzione di un problema, vorrei d'altra parte confutare al tempo stesso l'opinione secondo cui soltanto i concetti dell'analisi, o addirittura soltanto quelli dell'aritmetica sarebbero suscettibili di una trattazione pienamente rigorosa. Ritengo del tutto errata una tale opinione, sostenuta talvolta da eminenti personalità. Una così unilaterale interpretazione del requisito del rigore conduce ben presto a ignorare tutti i concetti provenienti dalla geometria, dalla meccanica e dalla fisica, a troncare l'afflusso di nuovo materiale dal mondo esterno e infine, magari come ultima conseguenza, a respingere i concetti di continuo e di numero irrazionale. Ma che importante nervo vitale verrebbe reciso dalla matematica, con l'estirpazione della geometria e della fisica matematica! Ritengo, al contrario, che dovunque emergano concetti matematici, sul versante della teoria della conoscenza oppure in geometria o nelle teorie delle scienze naturali, sorge per la matematica il compito di indagare i principi che stanno alla base di questi concetti e di fissarli mediante un sistema di assiomi semplice e completo, in modo tale che la precisione dei nuovi concetti e la loro utilizzabilità nella deduzione non siano in nessun aspetto inferiori rispetto a quelle dei vecchi concetti aritmetici.

CONGRESSO DI PARIGI

Al II Congresso Internazionale dei Matematici che ha luogo a Parigi nel 1900, David Hilbert presenta 23 problemi fino ad allora non risolti in diversi settori della matematica. Sono problemi che, nella sua opinione, avrebbero attirato l'attenzione dei ricercatori del nuovo secolo.

1) Il problema di Cantor del numero cardinale del continuo (ipotesi del continuo):

esiste un numero cardinale intermedio fra la potenza numerabile e quella del continuo? Nel 1938 Gödel dimostra che l'ipotesi del continuo è consistente con la teoria degli insiemi di Zermelo-Fraenkel; nel 1963 Cohen dimostra che anche la sua negazione lo è.

2) Compatibilità degli assiomi dell'aritmetica.

Gödel dimostra nel 1931 che nessuna teoria abbastanza ricca come l'aritmetica è in grado di dimostrare la propria consistenza.

3) Uguaglianza dei volumi di due tetraedri di uguale base ed uguale altezza.

Nel 1902 Max Dehn trova un controesempio.

4) Il problema della retta come minima distanza fra due punti:

costruire tutte le geometrie metriche in cui le rette sono geodetiche. Risolto nel 1901 da Georg Hamel.

5) Il concetto di gruppo continuo di trasformazioni di Lie senza assumere la differenziabilità delle funzioni che definiscono il gruppo:

è possibile evitare l'ipotesi che le trasformazioni siano differenziabili per introdurre il concetto di gruppo continuo di trasformazioni secondo Lie? Risolto per particolari gruppi di trasformazioni da John von Neumann del 1933 e, nel caso generale, da Andrew Gleason e (indipendente) da Deane Montgomery e Leo Zippin nel 1952.

6) Trattamento matematico degli assiomi della fisica:

in particolare, assiomatizzare quelle parti, come la meccanica e la teoria delle probabilità, in cui la matematica risulta essenziale. Risultati di Caratheodory (1909) sulla termodinamica, von Mises (1919) e Kolmogorov (1933) sulla teoria della probabilità, John von Neumann (1930) sulla teoria dei quanti, di Georg Hamel (1927) sulla meccanica.

7) Irrazionalità e trascendenza di certi numeri:

in particolare, sapere se a^b è trascendente quando la base a è algebrica e l'esponente b è irrazionale. Risposta affermativa da parte di Gelfond nel 1934 e (indipendente) di Schneider nel 1935.

8) Problemi dei numeri primi:

in particolare l'ipotesi di Riemann, sugli zeri della "funzione zeta" di Riemann, la quale è relativa alla distribuzione dei numeri primi.

9) Generalizzazione del problema di compatibilità degli assiomi dell'aritmetica

Risolto in un caso particolare da Teiji Takagi nel 1920 e più in generale da Emil Artin nel 1927.

10) Risolubilità delle equazioni diofantee:

esiste un algoritmo universale per risolverle? Risposta negativa da parte di Juryj Matijasevic nel 1970.

11) Forme quadratiche a coefficienti algebrici.

Risolto da Helmut Hasse nel 1923.

12) Estensione del teorema di Kronecker sui campi abeliani ad un arbitrario campo algebrico.

Risolto da Shimura e Taniyama nel 1959.

13) Impossibilità di soluzione dell'equazione generale di 70 grado per mezzo di funzioni di due soli argomenti.

Generalizza l'impossibilità di risolvere per radicali l'equazione generale di quinto grado. Risolto.

14) Finitezza di certi sistemi completi di funzioni.

Un primo controesempio viene dato da Nagata nel 1958.

15) Fondamento rigoroso del calcolo enumerativo di Schubert:

stabilire con precisione i limiti di validità dei numeri che Hermann Schubert ha determinato sulla base del principio di posizione speciale, per mezzo del suo calcolo enumerativo. Risolto.

16) Topologia delle curve e delle superfici algebriche:

in particolare sviluppando i metodi di Harnack e la teoria dei cicli limite di Poincaré.

17) Espressione di forme definite per mezzo di quadrati.

Nel 1927 Emil Artin dimostra che una funzione razionale definita positiva è somma di quadrati.

18) Riempimento dello spazio per mezzo di poliedri congruenti.

Risolto: ma Penrose ha trovato delle soluzioni non periodiche.

19) Sono necessariamente analitiche le soluzioni dei problemi regolari di calcolo delle variazioni?

Risolto parzialmente nel 1902 da G. Löttemeyer e più in generale nel 1904 da S. Bernstein.

20) Il problema di Hilbert sulla rappresentazione delle forme quadratiche...

soluzione di un problema variazionale regolare, sotto particolari ipotesi sulle condizioni al contorno. Risolto.

21) Esistenza di equazioni differenziali lineari con assegnato gruppo di monodromia.

Risolto in parte da Hilbert nel 1905. In altri casi particolari da Deligne nel 1970. Una soluzione negativa è stata trovata da Andrej Bolibruch nel 1989.

22) Uniformizzazione di relazioni analitiche per mezzo di funzioni automorfe.

Risolto nel 1907 da Paul Koebe.

23) Ulteriori sviluppi dei metodi del calcolo delle variazioni.

APPENDICE C: GENETICA DI POPOLAZIONI

Ogni singolo organismo nasce, si riproduce e muore, ma non si evolve: l'evoluzione è una progressiva variazione genica che si registra secondo un processo continuo in una popolazione di organismi nell'arco di molte generazioni. L'ereditarietà è perciò il legame che si instaura tra l'esistenza dei singoli individui e l'evoluzione delle popolazioni (cioè di tutti gli individui di una specie che vivono in una determinata area).

Si inizia l'analisi dei processi evolutivi illustrando i principi della genetica applicati a livello individuale ed estendendoli successivamente alle popolazioni.

I geni, sotto l'influenza dell'ambiente, determinano i caratteri di ciascun individuo.

Un gene è un segmento di DNA situato in un punto particolare su un cromosoma. La sua sequenza di nucleotidi contiene le informazioni per la sequenza di amminoacidi di una proteina (il più delle volte si tratta di un enzima che catalizza una determinata reazione nella cellula). Sequenze leggermente diverse di nucleotidi nello stesso locus genico, chiamate alleli, producono forme diverse del medesimo enzima. Un individuo che possiede alleli dello stesso tipo è omozigote; se possiede alleli di tipo diverso è eterozigote.

Gli alleli specifici dei cromosomi di un organismo (il suo genotipo), interagendo con l'ambiente, ne definiscono i caratteri fisici e comportamentali (fenotipo).

Per illustrare questi principi è utile un esempio.

Un fiore di pisello è color porpora perché una reazione chimica nei suoi petali trasforma una molecola incolore in un pigmento porpora. Quando si dice che una pianta di pisello possiede l'allele per fiori purpurei, si intende che un particolare frammento di DNA su uno dei suoi cromosomi contiene una sequenza di nucleotidi in grado di controllare la sintesi dell'enzima che catalizza questa reazione. Un pisello con l'allele per i fiori bianchi ha una sequenza diversa di nucleotidi nel punto corrispondente su uno dei suoi cromosomi. L'enzima che ne deriva non può fornire il pigmento porpora. Se un pisello è omozigote per l'allele bianco, i suoi fiori non producono pigmento, e risultano perciò bianchi.

La selezione naturale agisce direttamente sul fenotipo e, indirettamente, favorisce o elimina il genotipo che l'ha prodotto. La selezione naturale, quindi, altera le frequenze geniche di una data popolazione.

Il pool genico è l'insieme dei geni di una data popolazione.

L'evoluzione è un fenomeno dovuto ai cambiamenti dell'assetto genico delle popolazioni nel corso delle generazioni; quindi, per comprendere appieno i meccanismi evolutivi, è necessario conoscere i principi che governano la genetica delle popolazioni, cioè quella branca della genetica che studia la frequenza, la distribuzione e l'ereditarietà degli alleli all'interno delle popolazioni.

Si definisce pool genico l'insieme di tutti i geni presenti in una popolazione. Esso, cioè, comprende l'insieme degli alleli di tutti i geni presenti in ogni individuo.

Anche in relazione a ogni particolare gene si può parlare di un determinato pool genico, comprendente tutti gli alleli di quel gene che compaiono in una popolazione.

Per esempio, in una popolazione di 100 piante di pisello, il pool genico per il gene che controlla il colore dei fiori sarebbe costituito da 200 alleli (i piselli sono diploidi, per cui ciascuna pianta ha due alleli relativi al colore). Se potessimo analizzare la composizione genetica di ogni singola pianta, scopriremmo che alcune piante hanno alleli per i fiori bianchi, altre alleli per i fiori porpora e altre ancora li possiedono entrambi. Sommando gli alleli per il colore di tutte le piante nella popolazione, potremmo calcolare le proporzioni relative dei diversi alleli, un numero che si definisce frequenza allelica.

Se il pool genico per il colore dei fiori fosse formato da 140 alleli per il porpora e 60 alleli per il bianco, le frequenze alleliche sarebbero: porpora, 0,7 (70%); bianco, 0,3 (30%).

L'evoluzione consiste nel cambiamento delle frequenze geniche di una data popolazione.

Si immagini che una mucca golosa dei fiori porpora li mangi tutti prima che essi possano disperdere i semi. L'allele per i fiori porpora (P) è dominante rispetto all'allele per quelli bianchi (p). Di conseguenza tutti gli alleli "porpora" nell'intera popolazione si trovano nelle piante con fiori di color porpora (PP o Pp).

Se nessuna di queste si riproduce, e si riproducono invece le piante con fiori bianchi, la generazione seguente sarà formata per il 100% di piselli a fiori bianchi (pp). La frequenza allelica per il porpora cadrà a 0, mentre quella per il bianco salirà a 1,0. A causa delle abitudini alimentari della mucca, in quel campo avrà agito l'evoluzione. Il pool genico della popolazione di piselli avrà subito un cambiamento, provocato dalla selezione naturale che ha agito attraverso la mucca.

Questo semplice esempio illustra quattro aspetti importanti dell'evoluzione.

1. La selezione naturale non provoca cambiamenti genetici negli individui. Gli alleli preposti al colore porpora o bianco dei fiori erano già presenti nelle piante di pisello, assai prima che la mucca si imbattesse nel campo di piselli. L'animale non ha "causato la comparsa" degli alleli bianchi, ma ha semplicemente favorito la sopravvivenza differenziale degli alleli bianchi rispetto a quelli porpora.

2. La selezione naturale agisce sugli individui, ma l'evoluzione si manifesta nelle popolazioni. Le singole piante di pisello si sono in parte riprodotte e in parte no, ma è stata la popolazione nel suo insieme a evolversi.

3. L'evoluzione è un cambiamento nelle frequenze alleliche di una popolazione, conseguente a un processo riproduttivo differenziale. Nel linguaggio evolucionistico,

la fitness (capacità di adattamento) di un organismo è proporzionale al suo successo riproduttivo. Nel nostro esempio, i fiori bianchi hanno una capacità di adattamento maggiore dei fiori rossi perché hanno dato vita a una discendenza dotata di maggiori capacità di sopravvivenza.

4. I cambiamenti evolutivi non sono “buoni” o “progressivi” in senso assoluto. Gli alleli bianchi erano favorevoli soltanto per via delle preferenze dietetiche di quella mucca; in un altro ambiente, con altri predatori, avrebbero potuto trovarsi di fronte a una selezione di segno contrario. Le mutazioni e le ricombinazioni degli alleli nella riproduzione sessuale sono le fonti della variabilità.

E' facile accorgersi, osservando una data specie, che ogni individuo è diverso dagli altri, anche se di poco. Di fatto, è impressionante la variabilità che può scaturire dal medesimo patrimonio di qualche migliaio di geni, la maggior parte dei quali si presenta per di più come alleli multipli. Tale variabilità è legata alla ricombinazione genica e alla riproduzione sessuale che rimescolano gli alleli esistenti.

Ma da dove provengono inizialmente i differenti geni e i differenti alleli?

La fonte primaria di nuovi geni e nuovi alleli sono le mutazioni. Insieme, questi due processi, la ricombinazione e la mutazione, forniscono la materia prima dell'evoluzione.

Le mutazioni sono la fonte di nuovi geni e alleli. Le cellule dispongono di efficienti meccanismi per proteggere l'integrità dei loro geni. Una quantità di enzimi “pattuglia” continuamente il DNA alla ricerca di danneggiamenti provocati da radiazioni, alterazioni chimiche o errori di copiatura. Ciononostante, la sequenza di nucleotidi ogni tanto viene modificata: si verificano cioè delle mutazioni, le cui conseguenze sono grandemente variabili.

Alcuni cambiamenti dell'informazione genetica non hanno in pratica effetto sull'organismo, molti sono dannosi, mentre un numero limitato si rivela benefico, o quanto meno in grado di aiutare l'organismo ad adattarsi ad un ambiente nuovo o modificato.

Quale incidenza può avere una mutazione sul pool genico di una popolazione?

Le mutazioni sono rare, una ogni diecimila-un milione di geni per generazione e per individuo, per cui non possono costituire di per sé una causa primaria di evoluzione. Tuttavia, le mutazioni sono la fonte di nuovi alleli, nuove variazioni ereditabili sulle quali possono intervenire altri agenti dell'evoluzione. Come tali, sono perciò alla base del cambiamento evolutivo. Senza mutazioni non esisterebbe diversità tra le forme di vita e probabilmente non vi sarebbe vita.

Ma le mutazioni non sono finalizzate. Una mutazione non insorge come conseguenza, o in previsione, di esigenze ambientali, ma semplicemente accade e può a sua volta determinare un cambiamento nella struttura o nelle funzioni dell'organismo. Che questo cambiamento sia vantaggioso o dannoso, immediatamente o in seguito, dipende dalle condizioni ambientali, su cui l'organismo esercita un controllo minimo.

La mutazione fornisce il potenziale; altre “forze”, quali le migrazioni e soprattutto la selezione naturale, agendo su quel potenziale, possono favorire il diffondersi di una mutazione in seno a una popolazione oppure annullarne gli effetti.

Nella riproduzione sessuale, la ricombinazione genica produce nuove combinazioni di alleli esistenti

Vi sono tre passaggi grazie ai quali, durante la riproduzione sessuale, gli alleli vengono ricombinati.

Il *primo* si verifica nella meiosi, quando i cromosomi omologhi accoppiati vengono separati e distribuiti a caso nei gameti (per esempio, nei gameti degli esseri umani, dotati di 23 cromosomi, si possono produrre 8 milioni di combinazioni).

Il *secondo* si verifica allorché gli alleli nei singoli cromosomi vengono ricombinati grazie al *crossing over* tra coppie di cromosomi omologhi.

Il *terzo* si verifica al momento della fecondazione, quando coppie di gameti si fondono casualmente a dare un uovo fecondato che contiene una combinazione di alleli esclusiva, il genotipo.

Molte di queste combinazioni di alleli producono differenze riscontrabili a livello comportamentale, anatomico o fisiologico (fenotipo), le quali a loro volta modificano la capacità di adattamento dell'individuo in rapporto al suo ambiente.

La popolazione in equilibrio è un'entità astratta non soggetta ad evoluzione

Per capire quali forze inducono l'evoluzione nelle popolazioni è utile considerare le caratteristiche di una popolazione non soggetta a evoluzione.

Nel 1908, il matematico inglese G. H. Hardy e il medico tedesco W. Weinberg definirono **popolazione in equilibrio** una popolazione al cui interno né le frequenze alleliche né la distribuzione dei genotipi mutano col succedersi delle generazioni; in altre parole una popolazione che permane in *equilibrio genico*: non modificandosi le frequenze degli alleli, non si ha evoluzione.

Una popolazione resta in equilibrio solo se in essa si verificano alcune condizioni restrittive:

1. *non devono verificarsi mutazioni;*
2. *non deve esserci un flusso di geni tra popolazioni, cioè non deve esserci una migrazione netta di alleli verso l'interno della popolazione (immigrazione) o verso l'esterno (emigrazione);*
3. *la popolazione deve essere formata da un numero elevato di individui (teoricamente infinito);*
4. *gli accoppiamenti devono essere casuali;*
5. *non si deve verificare selezione naturale, vale a dire tutti i genotipi devono possedere le stesse capacità adattative e riproduttive.*

Soddisfatte queste condizioni, le frequenze alleliche entro una popolazione rimarranno costanti indefinitamente. La violazione di una o più di queste condizioni determina un cambiamento delle frequenze alleliche, diventando cioè fonte di evoluzione.

Come è facile intuire, pochissime popolazioni naturali sono in perfetto equilibrio.

Qual è allora l'importanza della legge di Hardy e Weinberg? Essa è un ottimo punto di partenza per lo studio dei meccanismi dell'evoluzione.

I MECCANISMI DELL'EVOLUZIONE

Le condizioni su cui si basa la legge di Hardy- Weinberg permettono di prevedere che in seno a una popolazione si verificheranno mutamenti evolutivi qualora:

- a. intervengano *mutazioni*;

- b. intervengano *migrazioni*;
- c. le *dimensioni numeriche* siano ridotte;
- d. gli *accoppiamenti* non siano casuali;
- e. agisca la *selezione naturale*.

a. Le mutazioni sono la fonte ultima della variabilità genica

Una popolazione rimane in equilibrio genico solo se *non si verificano mutazioni*. Benché le mutazioni siano rare, sono comunque il risultato inevitabile del modo imperfetto con cui il DNA viene duplicato durante la divisione cellulare. Se questi errori si verificano in una cellula che produce gameti, la mutazione può, tramite la discendenza, entrare a far parte del pool genico della popolazione. In un lasso di tempo sufficientemente lungo, la variazione genica mediante mutazione diviene una realtà.

b. La migrazione provoca un flusso di geni tra popolazioni

Nell'uso più comune la parola "migrazione" indica gli spostamenti stagionali di molte specie, soprattutto uccelli, tra i territori di riproduzione estivi e i più o meno lontani rifugi invernali. Nell'ambito della biologia evolutiva, con **migrazione** si intende *il flusso di geni tra popolazioni*.

La migrazione, cioè il *flusso genico*, ha in sostanza due effetti significativi:

1. *agevola la diffusione di alleli vantaggiosi all'interno della specie*. Se in una certa popolazione compare un allele vantaggioso, la migrazione può distribuirlo in altre popolazioni della stessa specie;
2. *contribuisce a preservare l'identità di specie in tutti gli organismi su un vasto territorio*. Se vi sono individui migratori che trasportano costantemente i geni "dentro e fuori" le popolazioni, nelle loro frequenze alleliche non possono svilupparsi grandi differenze. L'isolamento delle popolazioni e l'assenza di scambio genico tra loro è il fattore chiave all'origine di nuove specie.

c. Le piccole popolazioni sono soggette a variazioni casuali delle frequenze alleliche

Per rimanere in equilibrio genico, una data popolazione deve essere grande a sufficienza perché gli eventi casuali non abbiano significative ripercussioni sul suo assetto genico; in caso contrario, un accidente negativo potrebbe rappresentare un disastro, anche per gli individui più dotati. Se la popolazione è sufficientemente grande, è difficile che gli eventi casuali alterino le frequenze geniche complessive. Viceversa, in una popolazione piccola certi alleli sono posseduti solo da pochi individui, e quindi avvenimenti catastrofici possono ridurre, o eliminare del tutto, quegli alleli dalla popolazione.

La deriva genetica è un esempio di alterazione genica casuale in piccole popolazioni

La **deriva genetica** è un esempio di evento casuale in grado di cambiare le frequenze degli alleli in una popolazione di piccole dimensioni.

Due casi particolari di deriva genetica, l'*effetto collo di bottiglia* e l'*effetto del fondatore*, permettono di illustrare ulteriormente le enormi conseguenze che una popolazione di piccole dimensioni può determinare sulle frequenze alleliche di una specie.

L'effetto collo di bottiglia è un tipo di deriva genetica

Quando una popolazione attraversa una situazione a **collo di bottiglia** si riduce notevolmente di numero, al punto che restano solo pochi individui per fornire geni per le future popolazioni della specie.

I “colli di bottiglia” possono causare non solo *differenze nelle frequenze alleliche*, ma anche *riduzioni nella variabilità genica*.

L'effetto del fondatore è un caso particolare di deriva genetica

L'**effetto del fondatore** si verifica quando colonie isolate vengono originate da un ristretto numero di pionieri. Uno stormo di uccelli, per esempio, può perdersi durante la migrazione o in conseguenza di una tempesta. Tra gli uomini, può accadere che piccoli gruppi di persone si spostino per motivi politici e religiosi. In questi casi non è insolito che le frequenze alleliche siano anche molto diverse da quelle della popolazione parentale. Se l'isolamento dei fondatori si protrae a lungo, può formarsi una nuova popolazione nettamente diversificata dalla popolazione di origine.

In che misura la deriva genetica contribuisce all'evoluzione?

Nessuno lo sa con certezza. Di rado una popolazione naturale è estremamente piccola o tagliata fuori del tutto dal flusso genico delle altre popolazioni.

Tuttavia, capita che le popolazioni si riducano drasticamente; potrebbero essere proprio queste a contribuire in maggior misura ai mutamenti evolutivi. Infatti i biologi credono che le nuove specie si formino in seno alle popolazioni di piccole dimensioni.

d. La riproduzione all'interno di una popolazione non avviene quasi mai a caso

È raro che gli organismi si accoppino in modo strettamente casuale. Una forma di accoppiamento non casuale si verifica nei casi in cui solo alcuni maschi, al termine di reciproche competizioni più o meno cruente, conquistano il diritto di raccogliere intorno a sé un “harem” di femmine con cui generare la prole.

Un'altra forma di accoppiamento non casuale è rappresentata dagli *accoppiamenti assortativi*, in

cui gli individui di ciascun sesso tendono a scegliere partner di sesso opposto che siano simili a sé.

Una terza forma di accoppiamento non casuale – comune in molte specie di mammiferi e uccelli – interviene quando la scelta del partner è prerogativa di un sesso, in genere quello femminile; in questi casi, in cui si parla di *selezione sessuale*, la femmina acconsente a unirsi a un maschio solo dopo averne “valutato” le qualità, esibite secondo certi schemi rituali.

e. Come conseguenza della selezione naturale, non tutti i genotipi sono ugualmente adattativi

L'equilibrio genico richiede che tutti i genotipi abbiano la stessa capacità adattativa, cioè che nessuno abbia sugli altri un vantaggio selettivo. Alcuni alleli possono essere neutri dal punto di vista adattativo, così da garantire agli organismi che li possiedono un'uguale probabilità di sopravvivere e di riprodursi. Ovviamente questo non vale per tutti gli alleli in tutti gli ambienti. Ogni qualvolta un allele conferisce una “piccola superiorità”, la selezione naturale favorirà la moltiplicazione degli individui che ne sono provvisti.

La selezione naturale non è la *sola* forza evolutiva: infatti la mutazione fornisce la variabilità iniziale e gli effetti casuali della deriva genetica possono modificare la frequenza allelica, fino a differenziare nuove specie.

Si devono anche aggiungere occasionali eventi catastrofici, che hanno comportato estinzioni di massa. In ogni caso la selezione naturale rappresenta il fondamentale agente che plasma il cambiamento evolutivo.

LA SELEZIONE NATURALE

Per molti, la *selezione naturale* è sinonimo di *sopravvivenza del più adatto*.

In realtà, la selezione naturale ha più a che fare con la capacità di *riprodursi* che non con quella di *sopravvivere*.

È vero che un organismo, per potersi riprodurre, deve prima riuscire a sopravvivere quel tanto che basta per raggiungere l'età adulta. In alcuni casi, è anche vero che l'individuo in grado di vivere più a lungo ha più probabilità di riprodursi. Ma nessuno vive per sempre, e l'unica garanzia perché i geni si perpetuino risiede nel successo riproduttivo. Quando un organismo muore, con lui muoiono anche i suoi geni. Se in vita si era riprodotto, in un certo senso egli continua a vivere nei geni che ha trasmesso alla sua discendenza. Quindi, nonostante i biologi evoluzionisti discutano della capacità di sopravvivenza piuttosto che di quella riproduttiva in realtà la selezione naturale ha a che fare con la **riproduzione differenziale**: gli individui portatori di determinati alleli lasciano una discendenza (a sua volta portatrice di quegli alleli) più numerosa di quella degli individui portatori di altri alleli.

Gli effetti della selezione naturale sulle popolazioni si manifestano in tre modi principali

La selezione naturale non produce direttamente i suoi effetti sul genotipo, ma piuttosto sui fenotipi, ossia sui caratteri morfologici e sui comportamenti che contraddistinguono gli organismi di una popolazione.

I biologi, basandosi sugli effetti prodotti su una popolazione nel corso del tempo, riconoscono tre categorie principali di selezione naturale: la *selezione direzionale*, la *selezione stabilizzante* e la *dirompente*.

1. La **selezione direzionale**, dato un certo carattere (per esempio la grandezza), favorisce gli individui posti a uno degli *estremi dell'intervallo di distribuzione quantitativa di quel carattere*, a scapito di quelli posti in prossimità dei valori medi e di quelli situati all'altro estremo opposto del medesimo intervallo distributivo.

2. La **selezione stabilizzante** favorisce gli individui corrispondenti al *valore medio di un determinato carattere*, a scapito di quelli che possiedono i valori estremi per quel carattere.

3. La **selezione dirompente** favorisce gli individui che hanno *valori estremi per quel carattere*, a scapito di quelli che presentano il valore medio.

La selezione direzionale sposta i fenotipi verso una direzione ben precisa

Se le condizioni ambientali mutano bruscamente, per esempio in seguito a un cambiamento climatico o alla comparsa di nuovi predatori o prede, come risposta si può instaurare in una specie un *rapido processo evolutivo*.

L'acquisizione del lungo collo nella giraffa ha quasi certamente visto l'intervento della **selezione direzionale**: le prime giraffe dal collo piú slanciato si procacciavano piú cibo ed erano quindi piú prolifiche.

Quanto velocemente può la selezione direzionale modificare i genotipi? Dipende dalla natura genica della variabilità nella popolazione e dalla forza della selezione. Se nella popolazione esiste poca variabilità, o se i vari alleli sono responsabili di fenotipi tra loro non molto dissimili, la selezione direzionale opererà trasformazioni lente. Può accadere che una popolazione non riesca a replicare rapidamente alle pressioni selettive e venga condannata all'estinzione. La selezione direzionale opererà trasformazioni veloci se la variabilità è alta o se gli alleli determinano fenotipi assai diversi tra loro.

La selezione stabilizzante agisce contro gli individui che si discostano troppo dalla media

Selezione naturale non è necessariamente sinonimo di incessante cambiamento e "miglioramento" di una specie. Se quella specie è già ben adattata a un particolare ambiente e l'ambiente non subisce alterazioni, le variazioni, per effetto di nuove mutazioni o ricombinazioni di vecchi alleli, saranno in massima parte dannose. *La selezione privilegerà pertanto la sopravvivenza e la riproduzione di individui "medi"*, una situazione che corrisponde alla **selezione stabilizzante**.

In determinate circostanze la selezione stabilizzante opera in modo da non eliminare la variabilità, bensí da conservarla. L'opposizione alla pressione selettiva dà spesso origine a un *polimorfismo bilanciato*, nel quale due o piú alleli di un gene sono conservati in una popolazione poiché ciascuno è favorito da una distinta forza selettiva.

La selezione dirompente rende gli individui di una certa popolazione adattati ad habitat diversi

La **selezione dirompente** può verificarsi quando una popolazione occupa un'area che fornisce differenti tipi di risorse utilizzabili da parte di quella specie. In questa situazione lo sviluppo di caratteristiche differenti conferisce agli individui la massima capacità di adattamento all'impiego di ciascun tipo di risorsa.

La selezione naturale assume forme diverse

La selezione naturale agisce eliminando gli individui che non possiedono le caratteristiche richieste per sopravvivere e riprodursi nel loro ambiente. Tali caratteristiche sono chiamate **adattamenti** e il

processo che ne consente l'acquisizione prende anch'esso il nome di *adattamento*, in considerazione del fatto che il *risultato finale della selezione naturale è l'adattamento all'ambiente*.

L'ambiente di un organismo si può suddividere in due componenti: una *abiotica*, inanimata, e una *biotica*, costituita dagli altri organismi. Gli adattamenti a entrambe le componenti si realizzano attraverso la selezione naturale.

L'ambiente abiotico comprende fattori fisici quali il clima, la disponibilità di acqua, di sostanze minerali disciolte nel terreno ecc. ed esprime i requisiti "minimi" che occorrono a un organismo per sopravvivere e riprodursi.

La maggioranza degli adattamenti negli organismi moderni è però frutto di interazioni con altri organismi.

Come scrisse Darwin: «[...] La struttura di ogni essere organico è legata... a quella di tutti gli altri esseri organici, con cui viene a competizione per il cibo e il territorio, o da cui deve fuggire, o di cui si nutre».

Quando due specie o due popolazioni di una stessa specie interagiscono intensamente, ciascuna esercita sull'altra pressioni selettive. Se una specie sviluppa un nuovo carattere, o ne modifica uno vecchio, l'altra spesso reagisce perfezionando nuovi adattamenti.

*La costante, reciproca azione tra due specie viene definita **coevoluzione**.*

La competizione per le risorse piú scarse favorisce gli individui piú adatti

Una delle piú importanti forze selettive nell'ambiente biotico è la **competizione con altri individui della stessa specie**. Se ne rese ben conto Darwin, che ne *L'origine delle specie* affermò: «[...] La lotta quasi invariabilmente sarà piú accanita tra gli appartenenti alla medesima specie, giacché essi frequentano le stesse zone, vogliono lo stesso cibo, e sono esposti agli stessi pericoli». In altri termini, nessun competitore ha esigenze tanto simili come un individuo della stessa specie. Uccelletti canori dai colori smaglianti, come i pettirossi e i cardinali americani, si sovrappongono ampiamente nell'area di distribuzione, nidificando entrambi in primavera tra gli alberi.

La competizione è però ridotta grazie alle diverse abitudini alimentari. Può comunque accadere che due o piú specie si disputino le stesse risorse, anche se in generale senza troppo accanimento. Il fatto che un particolare tratto di prateria sia ricoperto di graminacee, di artemisia o di alberi è almeno in parte determinato dalla lotta tra queste piante per sfruttare la poca umidità disponibile.

Durante la predazione, predatore e preda agiscono entrambi quali agenti della selezione

Nel senso piú generale, con il termine di **predazione** si intende *qualsiasi situazione in cui un organismo si nutre a spese di un altro organismo*.

A volte la coevoluzione tra predatore e preda è una sorta di “corsa agli armamenti biologici”, in cui ciascuno va sviluppando nuovi adattamenti in risposta ai mutamenti evolutivi dell'altro.

La simbiosi fa sí che due o piú specie sviluppino legami molto stretti tra loro

*La vita in comune di individui di due specie diverse in una prolungata e intima relazione ecologica prende il nome di **simbiosi***. Di norma uno dei due organismi trae profitto dall'associazione, mentre l'altro può riceverne un danno o un vantaggio, oppure subirla senza esserne influenzato.

Da un punto di vista evolutivo, la simbiosi conduce agli adattamenti coevolutivi piú complessi. I simbiotici trascorrono in pratica insieme l'intera esistenza e almeno uno dei due organismi, e non di rado entrambi, deve incessantemente adattarsi ai mutamenti evolutivi sviluppati dall'altro.

LA FORMAZIONE DI NUOVE SPECIE: LA SPECIAZIONE

La speciazione dipende dall'isolamento delle popolazioni e dalla divergenza genica

Si definisce **specie** l'insieme di tutte le popolazioni di organismi che sono potenzialmente in grado di incrociarsi tra loro in natura, dando origine a una prole sana e feconda.

Il processo attraverso cui si forma una nuova specie viene detto **speciazione**.

Normalmente, nel loro ambiente naturale, i componenti di una specie non si accoppiano con quelli di un'altra. Quando ciò accade, come nel caso dell'incrocio tra un asino e una cavalla, che dà origine al mulo, la prole è in genere costituita da ibridi sterili (nel caso del mulo, ciò è dovuto al fatto che, al momento della meiosi, i cromosomi dei due genitori non riescono ad appaiarsi).

Perché si possa produrre una nuova specie, i meccanismi evolutivi devono introdurre nelle popolazioni cambiamenti genici tali da escludere ogni possibilità di accoppiamento con altre specie o rendere comunque la prole ibrida che eventualmente ne derivi incapace di riprodursi con successo.

La speciazione dipende da:

1. l'isolamento delle popolazioni. Affinché due popolazioni divengano sufficientemente diverse dal punto di vista genetico, perché il loro incrocio ne risulti fortemente ostacolato o del tutto impedito, è necessario che tra loro lo scambio (o *migrazione*) di geni sia limitato. In caso contrario, i cambiamenti a livello genetico che si verificano in una popolazione si diffonderebbero rapidamente anche nell'altra;

2. la divergenza genica. Non basta che due popolazioni siano isolate; perché diventino due specie diverse occorre che durante il periodo di isolamento abbiano sviluppato una differenza genetica sufficientemente profonda da impedire loro, in seguito a un eventuale ricongiungimento, di incrociarsi dando origine a una prole vigorosa e feconda. Se le popolazioni isolate sono piccole, si possono produrre casualmente differenze genetiche significative dovute alla deriva genetica. Sia nelle popolazioni piccole sia in quelle grandi, pressioni selettive di tipo diverso, esercitate in ambienti diversi, sono in grado di favorire l'insorgere di differenze genetiche marcate.

In natura, la speciazione è stata osservata di rado, tuttavia, i biologi, basandosi in parte su considerazioni teoriche e in parte su esperimenti e osservazioni, hanno formulato ipotesi plausibili sull'origine di nuove specie in almeno due casi:

la *speciazione allopatrica* (relativa a due popolazioni isolate geograficamente);

la *speciazione simpatica* (relativa a due popolazioni viventi nella stessa area).

La speciazione allopatrica riguarda le popolazioni fisicamente separate

La **speciazione allopatrica** (termine di derivazione greca che significa «di patria diversa») si verifica quando due popolazioni restano **isolate geograficamente** tra loro, vale a dire quando sono separate da una grande distanza o da barriere insormontabili quali un fiume o una catena montuosa.

La speciazione simpatica riguarda le popolazioni che vivono nella stessa area

La **speciazione simpatica** (cioè «della stessa patria») riguarda una singola popolazione residente in una certa area geografica. Per avere luogo, la speciazione simpatica richiede un

flusso genico limitato, esattamente come per quella allopatrica. Ci sono due modi perché tale condizione si verifichi: l'*isolamento ecologico* e le *aberrazioni cromosomiche*.

L'isolamento ecologico limita popolazioni diverse in habitat diversi di una stessa area

Se una stessa area geografica contiene due tipi di habitat diversi (per tipo di cibo, luoghi di nidificazione ecc.), alcuni membri della specie possono cominciare a specializzarsi per uno di tali habitat. Se si verificano le giuste condizioni, la selezione naturale indirizzata verso la specializzazione per un certo habitat può dividere la specie originaria in due specie diverse.

L'alterazione del numero di cromosomi può determinare l'isolamento riproduttivo immediato di una popolazione

In alcuni casi, le nuove specie possono prodursi istantaneamente sia mediante alterazioni nella configurazione o nel numero di cromosomi, sia per via di irregolarità durante la meiosi. Un meccanismo di speciazione comune è quello per **poliploidia**, cioè l'acquisizione di copie multiple di cromosomi.

LA GENETICA DELLA SPECIAZIONE

Quando le piante producono nuove specie per poliploidia, si verifica un mutamento a livello genico improvviso e di vasta portata. Ma che dire degli altri casi della speciazione allopatrici e simpatrici? Ci sono due modelli per descrivere la speciazione: l'accumulo graduale di molti cambiamenti di piccola entità, e l'improvvisa comparsa di pochi ma cospicui mutamenti.

Dal momento che sono stati osservati pochi casi di speciazione e le conoscenze sulla genetica dello sviluppo sono scarse, appare difficile stabilire qual è il modello corretto. Il dibattito a tale proposito continuerà fino a quando l'indagine biologica molecolare non chiarirà meglio le basi genetiche dello sviluppo e delle differenze tra le specie durante lo sviluppo.

Il primo modello di speciazione sottolinea l'importanza del lento accumularsi di numerosi piccoli cambiamenti genici

Due popolazioni, vuoi per deriva genetica, vuoi per pressioni selettive differenziate, accumulano gradualmente piccole differenze geniche. Nel corso del tempo, questo accumulo porta all'isolamento riproduttivo delle due popolazioni che finiscono così col dare vita a due specie distinte.

Il secondo modello di speciazione sottolinea la comparsa improvvisa di pochi cambiamenti significativi

Il secondo modello parte dall'idea che un singolo gene regolatore, o un piccolo numero di questi controllino i percorsi principali dello sviluppo: per esempio, il modo in cui cellule in origine simili si sono specializzate nella formazione di strutture diverse.

Sappiamo che ciò è vero per quanto riguarda certi aspetti dello sviluppo degli animali; quindi, le mutazioni in alcuni dei geni regolatori potrebbero produrre cambiamenti significativi nello sviluppo tanto da isolare subito i mutanti dalla popolazione originaria. La specie nuova si produrrebbe pertanto all'istante.

L'ESTINZIONE

Non sempre la selezione naturale porta all'adattamento. Può anche condurre alla morte di tutti i membri di una specie, cioè all'**estinzione**. Trilobiti artropodi, dinosauri, tigri dai denti a sciabola, tutti scomparsi da tempo, ci sono noti soltanto attraverso i loro resti fossili.

Secondo le stime dei paleontologi *almeno* il 99,9% delle specie formatesi nel corso dei millenni è ormai estinto. Perché? Due fattori sembrano predestinare una specie a una fine prematura: la *distribuzione localizzata* e la *superspecializzazione*.

La distribuzione localizzata e la superspecializzazione rendono una specie vulnerabile ai mutamenti ambientali

Quanto alla distribuzione localizzata, non è difficile rendersi conto che, se una specie è presente solo in un'area geografica molto limitata, sarebbe sufficiente una perturbazione ambientale (per esempio climatica) di una certa entità per condannarla all'estinzione. Invece le specie ad ampia distribuzione geografica in genere non soccombono a catastrofi ambientali localizzate. Anche una specie superspecializzata a uno specifico ambiente è vulnerabile rispetto al pericolo di estinzione.

Le cause determinanti dell'estinzione

Le principali modificazioni all'origine dell'estinzione di una specie sono connesse alle *interazioni con altri organismi* (competizione tra specie, comparsa di nuovi predatori e parassiti) e soprattutto all'*alterazione* e alla *distruzione dell'habitat*.

Estinzione provocata da interazioni con altri organismi

La lotta per sfruttare le risorse limitate è una realtà che si deve fronteggiare in qualsiasi ambiente. Se i competitori acquisiscono adattamenti superiori e una specie non riesce a evolversi abbastanza in fretta da adeguarsi, il suo destino è segnato.

Estinzione provocata dall'alterazione e dalla distruzione dell'habitat

Esistono fondate ragioni per credere che la *distruzione dell'habitat possa essere la causa primaria di estinzione, oggi come in passato.*

Le modificazioni ambientali provocate attualmente dall'uomo stanno moltiplicandosi con una rapidità che desta giustificati timori.

L'estinzione più rapida nella storia della vita sulla Terra avverrà forse nei prossimi cinquant'anni, via via che le foreste tropicali saranno abbattute per ricavarne legname e spazio da destinare all'allevamento e alle coltivazioni: potrebbe scomparire circa la metà delle specie esistenti.

Gli sconvolgimenti ecologici del passato hanno seguito cadenze più lente, ma non per questo prive di conseguenze anche gravi.

Molte estinzioni sono attribuibili a mutamenti climatici. Più di una volta a un clima caldo e umido sono succedute condizioni più fredde e secche, caratterizzate da una maggiore variabilità della temperatura. Innumerevoli piante e animali non riuscirono ad adattarsi a condizioni di freddo rigido e si estinsero. Una causa di cambiamento climatico è la deriva dei continenti. "Slittando" sul sottostante mantello viscoso, le zolle continentali emerse si muovono e variano di latitudine.

Un modo fulmineo di distruzione dell'habitat potrebbe essere provocato da *eventi geologici catastrofici*, come per esempio massicce eruzioni vulcaniche.

APPENDICE D: LA CLASSIFICAZIONE DI KOPPEN NEL DETTAGLIO

Il sistema di classificazione dei climi concepito da Koppen è tutt'altro che semplice e prevede la seguente formulazione:

CLASSE A

I climi della Classe A rientrano tra i climi umidi della zona intertropicale (tutti i mesi con temperatura superiore a +18°C). Essi si suddividono utilizzando le lettere f e w.

Nel dettaglio:

f - se manca la stagione secca ed in particolare quando anche nel mese più piovoso non vengono superati i 60 mm di pioggia;

w - nei casi in cui si ha un mese con un totale di pioggia non superiore ai 60 mm.

In altre tipologie climatiche la stagione secca può essere breve con la conseguenza che le riserve idriche possono risultare più che sufficienti per fronteggiare il periodo secco. In questa eventualità viene sostituita la lettera **w** con **m**. Si ha **m** (ad esempio clima monsonico) quando le precipitazioni del mese più secco, espresse in cm (60 mm) rimangono superiori a 10.

Nella classe A sono individuate ulteriori tipologie climatiche secondarie, con l'impiego della seconda lettera nei casi seguenti:

w' - quando la stagione più piovosa cade in autunno;

w'' - quando due stagioni piovose sono intervallate da due stagioni secche;

s - quando il periodo secco cade in estate.

In terza o quarta posizione nella formula climatica, sempre per la Categoria A, si possono associare:

g - se il mese più caldo cade prima del solstizio estivo e prima della stagione più piovosa;

t' - se il periodo più caldo spostato in autunno;

t'' - se il periodo più fresco cade subito dopo il solstizio estivo;

i - se la differenza tra il mese più caldo e quello più fresco non supera i 5°C.

CLASSE B

Nei climi della classe B ha grande importanza l'evapotraspirazione che assume maggiore significato rispetto alle precipitazioni. Si tratta dei climi aridi. In questi sistemi si tiene soprattutto

Alessandra Boraso

La sottile arte della gestazione mentale: le idee del primo

ventennio del Novecento

conto dei regimi aridi, distinguendoli da quelli semi-aridi ove si ha una stagione piovosa che può coincidere con la stagione estiva o con quella invernale.

Nell dettaglio, si definisce con con:

r - la quantità annua di precipitazioni espressa in cm;

t - la temperatura media annua espressa in °C.

Il sistema è ulteriormente migliorato, come per la precedente Classe A con:

-se vi è un massimo di precipitazione invernale

- $r < t$ definisce **BW**;
- r compreso tra t e $2t$ definisce **BS**;
- $r > 2t$ corrisponde ai climi aridi fuori dalla Classe B.

-se vi sono regimi pluviometrici equamente ripartiti nel corso dell'anno

- $r < t + 7$ definisce **BW**;
- r compreso tra $t + 7$ e $2(t + 7)$ definisce **BS**;
- $r > 2(t + 7)$ si va fuori dalla Classe B.

-se vi è un massimo estivo di precipitazioni:

- $r < t + 14$ definisce **BW**;
- r compreso tra $t + 14$ e $2(t + 7)$ definisce **BS**;

- $r > 2(t + 14)$ si va fuori dalla Classe B.

In questa Classe Koppen ha introdotto ulteriori suddivisioni per cercare di distinguere i climi aridi e semiaridi della zona tropicale da quelli delle zone temperate.

Per realizzare lo scopo vengono usate in terza posizione le seguenti lettere:

h (torrido) se la temperatura media è $> 18^{\circ}\text{C}$;

k (freddo) se la temperatura media è $< 18^{\circ}\text{C}$;

k' se la temperatura del mese più caldo è $< 18^{\circ}\text{C}$.

E' da rilevare quanto sia importante per Koppen l'isoterma 18°C che separa i deserti caldi da quelli freddi delle medio-alte latitudini.

Nell'ambito della Classe B vengono utilizzate altre lettere, in terza o quarta posizione che rappresentano le seguenti caratteri:

n (nebbia) se le nebbie sono molto frequenti come ad esempio in alcuni deserti costieri;

n', n'', n''' se le nebbie sono poco frequenti ma l'umidità relativa è piuttosto alta e, rispettivamente, se la temperatura estiva è $< 24^{\circ}\text{C}$, tra 24°C e 28°C o $> 28^{\circ}\text{C}$;

x quando le piogge cadono in tarda primavera o all'inizio dell'estate;

x' se le precipitazioni sono rare ma violente.

CLASSE C

I climi della Classe C rientrano tra i climi temperati umidi nei quali la media della temperatura nel mese più freddo non è inferiore a -3°C .

La distinzione dei climi in questa classe tiene soprattutto conto del regime delle piogge con l'utilizzo delle lettere **f**, **w** ed **s**, con un significato più restrittivo rispetto ai tipi climatici della Classe A.

Per i climi C si hanno le seguenti distinzioni valevoli anche per la Classe D:

s - se il mese meno piovoso che appartiene alla stagione estiva, ha un totale di precipitazioni inferiori ad un terzo di quello del mese invernale più piovoso, comunque non inferiore a 30 mm;

w - se il mese meno piovoso, che cade nella stagione invernale, riceve una quantità di precipitazioni inferiore ad un decimo di quella del mese più piovoso dell'estate;

f - quando non si riscontra un periodo arido nel senso più stretto del termine (si veda i precedenti **s** e **w**). In questo caso il mese più secco estivo presenta un totale di pioggia inferiore ad un terzo di quello del mese più piovoso invernale, ma superiore a 30 millimetri, il tipo si annoterà come **Cfs** e **Dfs** e non **Cs** o **Ds**.

Nella Classe C la temperatura viene trattata nel seguente modo:

a se la temperatura media del mese più caldo è superiore a 22°C ;

b se la temperatura è inferiore a 22°C ma si hanno oltre quattro mesi con temperatura superiore a 10°C .

In questa Classe, conclusivamente, possono essere usate in terza o quarta posizione le lettere **i**, **g**, **x**, **n** con la medesima finalità di utilizzo riscontrabile nelle Classi A e B.

CLASSE D

Queste tipologie climatiche vengono osservate esclusivamente nell'emisfero boreale dove occupano tutta la parte settentrionale dei continenti fino al limite Nord delle foreste boreali. La temperatura di 10°C nel mese più caldo coincide con questo limite.

Questi climi sono caratterizzati da suolo gelato e copertura nevosa che persiste per molti mesi nel corso dell'anno.

Il regime pluviometrico evidenzia due tipologie:

Df e **Dw**, ove **f** e **w** coincidono con i climi della Classe C, cioè con inverno umido o secco. Per ciò che riguarda il regime delle temperature oltre ai tipi **a** e **b**, si aggiungono le seguenti lettere rappresentative di specificità climatiche:

c - quando si hanno da uno a quattro mesi con t superiore a 10°C mentre la temperatura del mese più freddo è superiore a -38°C ;

d - quando si hanno da uno a quattro mesi con t superiore a 10°C ma la temperatura del mese più freddo è inferiore a -38°C .

CLASSE E

Nella classe E rientrano i climi freddi in cui la media del mese più caldo è inferiore a 10°C .

In sintesi:

ET se la t del mese più caldo è compresa tra 0°C e 10°C

EF se la t del mese più caldo è inferiore a 0°C

Dette condizioni si possono riscontrare, per ambedue le tipologie, sulle montagne delle latitudini temperate e intertropicali. In tal caso si userà la lettera **H**, da aggiungere ai gruppi **ET** e **EF**.

DISTRIBUZIONE DEI CLIMI DEL GLOBO TERRESTRE SECONDO LA CLASSIFICAZIONE DI W. KÖPPEN

“Famiglia” climatica	Adattamenti climatici delle piante	T (°C)	Tipo climatico	Caratteri del clima	Tipologia di vegetazione	Alberi?
Megatermic o umido (A : piovoso senza inverno)	<u>megaterme</u> : temperatura e umidità elevata	tutto l’anno >18	Af equatoriale	piogge abbondanti tutto l’anno, umidità per evaporazione	foresta pluviale	SI
			Aw subequatoriale tropicale	piogge abbondanti alternate a periodi caldi secchi	savana (foresta a galleria lungo i fiumi; giungla nelle zone monsoniche)	
Secco (B)	<u>xerofile</u> : temperatura elevata e umidità scarsa	mese più freddo da -30 a 18	BW caldo secco $P \leq (20 T + 140) / 2$	piogge scarse, intensa siccità	deserto	NO
			BS semiarido con inverno freddo $P \leq 20 T + 140$	temporali rari e violenti	steppa	
	<u>mesoterme</u> :		Cw continentale	inverno secco, estate calda	foresta mista, spesso discontinua	

Temperato caldo (C: piovoso con inverno mite)	temperatura mite e umidità variabile nel corso dell'anno	m. più freddo da -3 a 18	Cs mediterraneo	inverno mite-umido, estate caldo-secca presente	foresta di latifoglie e aghifoglie sempreverdi	SI
			Cf fresco umido	inverno mite-umido, estate caldo-secca assente	foresta di latifoglie decidue e brughiera	
Temperato freddo (D: piovoso con inverno freddo)	<u>microterme</u> : bassa temperatura e umidità, inverni rigidi	m. più freddo <3	Df freddo umido	inverno freddo, estate breve e calda	foresta di latifoglie decidue e prateria-steppa	SI
		” m. più caldo >10	Dw freddo con inverno secco	precipitazioni scarse e uniformi, inverno lungo	foresta di aghifoglie (taigá)	
Nivale (E: privo di stagioni calde)	<u>Echistoterme</u> : temperatura e umidità estrem. bassa	tutto l'anno <10	ET seminivale	precipitazioni estr. scarse, inverno estr. lungo	tundra	NO
		” m. più caldo <0	EF nivale		afitoico (gelo perenne)	

m = mese

APPENDICE E: COME SI E' GIUNTI AL MODELLO ATOMICO ODIERNO

Nel **1905 Millikan** dimostrò che la carica elettrica è sempre un multiplo intero di una quantità elementare pari $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, carica che si dimostrò appartenere sia al protone che all'elettrone. Nota la carica dell'elettrone ed il rapporto e/m fu quindi possibile ricavare il valore assoluto della massa dell'elettrone.

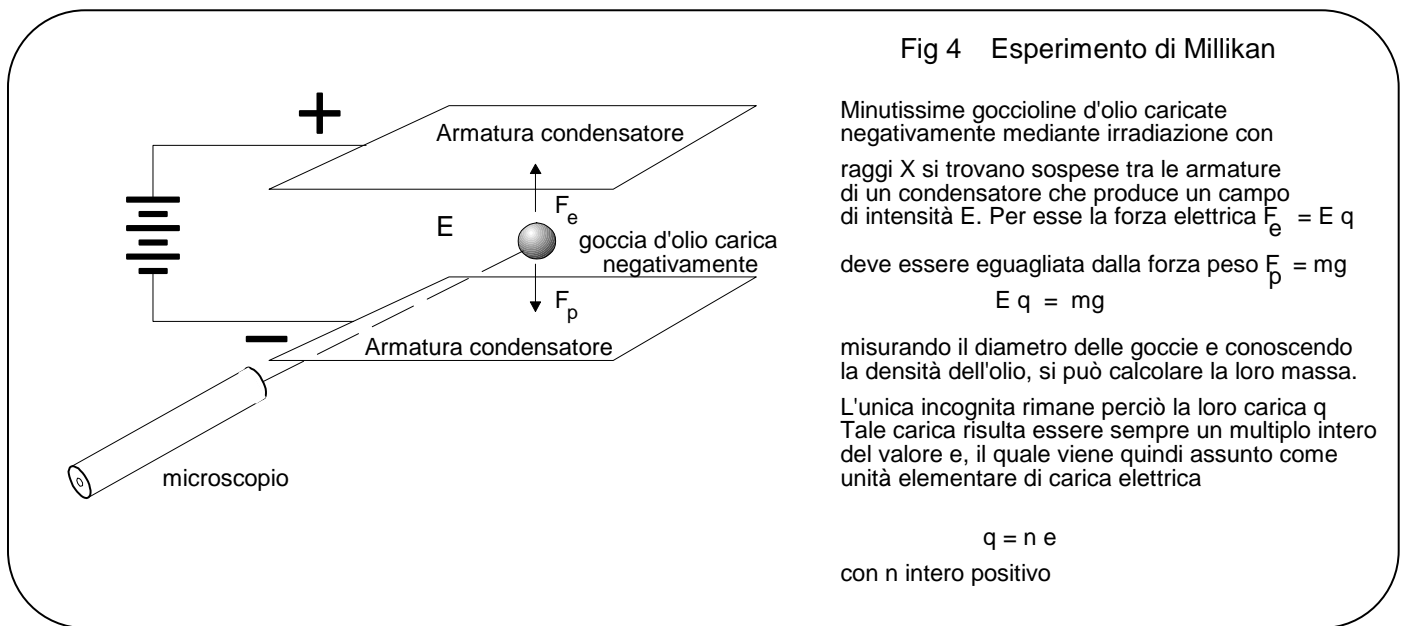


Fig 4 Esperimento di Millikan

Minutissime goccioline d'olio caricate negativamente mediante irradiazione con raggi X si trovano sospese tra le armature di un condensatore che produce un campo di intensità E . Per esse la forza elettrica $F_e = E q$ deve essere eguagliata dalla forza peso $F_p = mg$

$$E q = mg$$

misurando il diametro delle gocce e conoscendo la densità dell'olio, si può calcolare la loro massa.

L'unica incognita rimane perciò la loro carica q . Tale carica risulta essere sempre un multiplo intero del valore e , il quale viene quindi assunto come unità elementare di carica elettrica

$$q = n e$$

con n intero positivo

Il fatto che un atomo neutro contenesse al suo interno particelle negative di massa trascurabile rispetto a quella dell'intero atomo, richiedeva naturalmente la presenza di una controparte positiva alla quale associare la maggior parte della sua massa.

Nel **1886 Goldstein**, usando un tubo a raggi catodici con catodo forato, rilevò dietro al catodo, una luminescenza provocata da radiazioni con movimento opposto a quello dei raggi catodici. Egli dimostrò che si trattava di particelle cariche positivamente (**raggi canale**). Poiché la massa di tali particelle era diversa a seconda del gas contenuto nel tubo, si ritenne, correttamente, che gli elettroni che attraversavano il gas, accelerati dalla differenza di potenziale fossero in grado,

urtandoli, di strappare gli elettroni contenuti negli atomi del gas, facendoli così diventare **ioni positivi** i quali, attirati dal catodo, andando a formare i raggi canale. Si dimostrava dunque che l'atomo neutro doveva presentare una struttura interna formata da particelle negative di piccola massa (elettroni) che neutralizzavano una porzione positiva più massiccia.

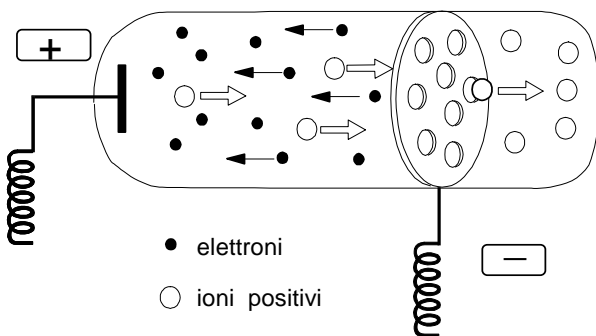


Fig 5 Esperimento di Goldstein per lo studio dei raggi canale

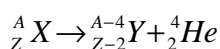
Lo studio dei raggi canale portò in seguito lo stesso **Thomson** nel **1907** a scoprire l'esistenza degli **isotopi**. Sottoponendo i raggi canale a condizioni sperimentali simili a quelle a cui aveva sottoposto gli elettroni per

determinarne il rapporto e/m , Thomson scoprì che gli ioni di uno stesso elemento non si distribuivano su di un'unica parabola, ma presentavano diverse traiettorie. Thomson interpretò correttamente i risultati dell'esperimento ipotizzando che all'interno di uno stesso elemento fossero presenti gruppi di atomi aventi le stesse caratteristiche chimiche, ma massa diversa. Erano stati scoperti gli isotopi. Lo strumento utilizzato da Thomson è sostanzialmente analogo all'attuale **spettrografo di massa** che permette oggi di pesare le sostanze chimiche, calcolando inoltre le

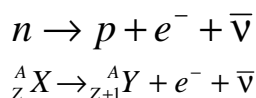
percentuali relative dei vari isotopi in base all'annerimento relativo della lastra fotografica che vanno a colpire.

Nel **1904 Rutherford** dimostrò che la radiazione alfa è costituita da nuclei di Elio. Lo stesso Rutherford, con la collaborazione di Soddy, fu in grado ben presto di dimostrare che durante l'emissione delle radiazioni alfa e beta, l'elemento radioattivo si trasforma, con un ritmo caratteristico, in un elemento di peso e numero atomico diverso (e quindi in un altro elemento chimico).

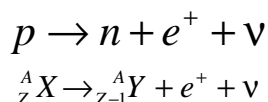
Decadimento alfa - Quando un nucleo radioattivo (e quindi instabile) emette una radiazione α , esso si trasforma, o *decade*, nell'elemento che lo precede di due posti nella tabella periodica, a causa della perdita di due protoni (e due neutroni). Tale processo è noto come



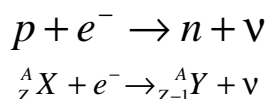
Decadimento β^- (beta-meno) Quando un nucleo radioattivo emette una radiazione β^- , esso si trasforma, o *decade*, nell'elemento che lo segue di un posto nella tabella periodica, a causa della trasformazione di un neutrone del suo nucleo in un protone (che rimane nel nucleo), un elettrone e un antineutrino (che si allontanano dal nucleo)



Decadimento β^+ (beta-più) Quando un nucleo radioattivo emette una radiazione β^+ , esso si trasforma, o *decade*, nell'elemento che lo precede di un posto nella tabella periodica, a causa della trasformazione di un protone del suo nucleo in un neutrone (che rimane nel nucleo), un positrone ed un neutrino (che si allontanano dal nucleo)



Cattura elettronica (cattura K). Si produce quando uno degli elettroni presenti nel guscio più vicino al nucleo (livello K) viene catturato da un protone che si trasforma in un neutrone ed un neutrino



Agli inizi del '900 vi erano dunque sufficienti elementi per formulare un modello atomico coerente. Nel **1904 J.J. Thomson** ipotizzò che gli atomi fossero costituiti da una massa carica

positivamente, uniformemente distribuita, all'interno della quale erano presenti gli elettroni, carichi negativamente, in numero tale da determinare l'equilibrio delle cariche e quindi la neutralità.

Per cercare di chiarire la reale distribuzione delle cariche positive e negative che costituiscono l'atomo è possibile studiare gli effetti di deflessione (**scattering** o **diffusione**) che queste producono su particelle-proiettile dotate di carica. Tale tecnica, oggi divenuta molto comune per sondare la struttura della materia, fu utilizzata per la prima volta proprio sull'atomo, utilizzando come proiettili particelle α e β .

Nel **1911 Rutherford**, a conclusione di una serie di esperimenti di scattering condotti sugli atomi, giunse a modificare profondamente il modello di Thomson

In tali esperimenti vennero fatte collidere particelle α con sottilissimi fogli metallici di oro o platino.

Il loro comportamento risultò sorprendente ed incompatibile con il modello di Thomson: la maggior parte delle particelle attraversava indisturbata il diaframma metallico proseguendo in linea retta, ma alcune particelle subivano vistose deflessioni, in alcuni casi rimbalzando addirittura indietro. Il numero delle particelle deviate risultava correlato al numero atomico degli atomi bombardati.

L'esperienza suggerisce che:

- La struttura atomica sia estremamente rarefatta, visto l'alto numero di particelle in grado di attraversarla
- la diffusione sia provocata dalla repulsione tra particelle alfa incidenti ed una carica positiva estremamente concentrata il cui valore cresca al crescere del numero atomico.

Infatti se la carica positiva fosse diffusa, distribuita uniformemente su tutto il volume atomico, le particelle α sarebbero sottoposte sempre ad una forza risultante nulla o quasi nulla, sia passando all'interno di un atomo, sia passando tra gli atomi (è quel che accade utilizzando come proiettili-sonda gli elettroni, i quali attraversano la materia subendo deviazioni molto piccole, a causa della distribuzione più omogenea e diffusa delle cariche negative dell'atomo).

Per giustificare i risultati dei suoi esperimenti, Rutherford propose dunque un nuovo modello atomico, detto **modello planetario** con gli elettroni che andavano a costituire una specie di corteccia

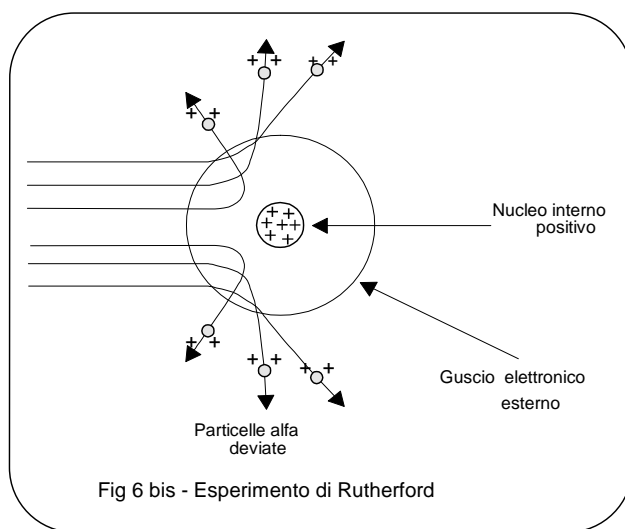
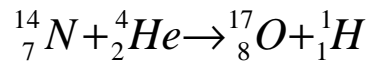


Fig 6 bis - Esperimento di Rutherford

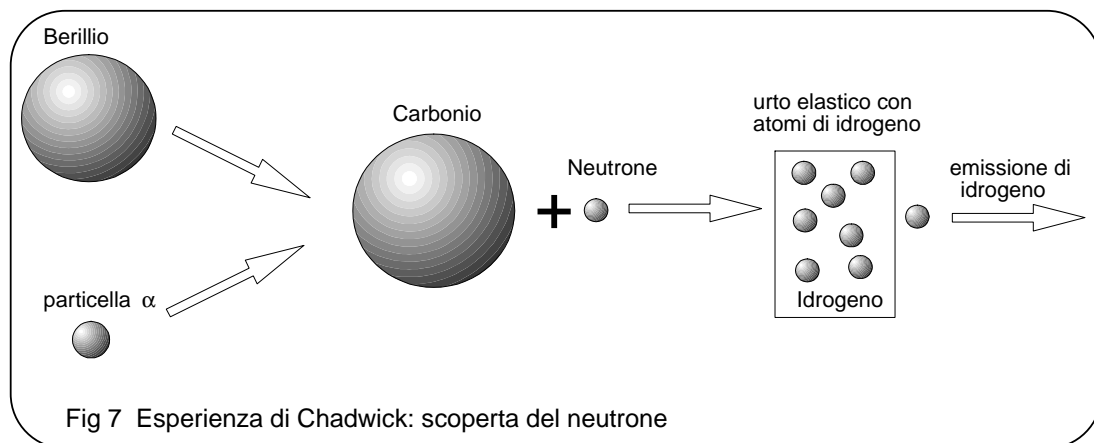
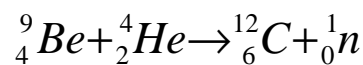
esterna al massiccio **nucleo** positivo, in modo da garantire la neutralità a livello macroscopico. Per non cadere nel nucleo, attirati dalla carica positiva in esso presente, gli elettroni negativi dovevano naturalmente possedere un'energia cinetica agente in senso opposto.

Da calcoli effettuati sulle percentuali e sugli angoli di deviazione, Rutherford giunse a calcolare che, mentre l'atomo doveva possedere un diametro dell'ordine di 10^{-8} cm, il nucleo avrebbe dovuto presentare un diametro dell'ordine di 10^{-12} - 10^{-13} cm.

Lo stesso Rutherford proporrà in seguito di chiamare **protone** il nucleo dell'elemento più leggero, l'idrogeno. L'esistenza dei protoni venne definitivamente confermata nel 1925 da Blackett, il quale riuscì ad ottenere immagini fotografiche (camera di Wilson) della trasmutazione dell'azoto, che, colpito da una particella α si trasforma in un nucleo di ossigeno e libera un protone del suo nucleo.



Solo molto più tardi (1932) James Chadwick, bombardando il Berillio con particelle α , scoprì che nei nuclei sono presenti anche particelle neutre, aventi una massa dello stesso ordine di grandezza del protone, anche se leggermente superiore, che vennero chiamati **neutroni**.



La scoperta dei neutroni permise di giustificare completamente l'esistenza degli isotopi, scoperti in precedenza da Thomson. Inoltre permise di classificare gli atomi dei vari elementi in funzione del numero dei protoni presenti nel loro nucleo.

Il modello di Rutherford presentava tuttavia gravi difetti in quanto gli elettroni che ruotano intorno al nucleo dovrebbero perdere energia cinetica sotto forma di emissione di radiazione elettromagnetica, come previsto dalle leggi dell'elettrodinamica, finendo per cadere sul nucleo. Inoltre gli atomi, in opportune condizioni, sono in grado di emettere e assorbire radiazione elettromagnetica secondo modalità che il modello planetario di Rutherford non era in grado di giustificare.

Fu pertanto necessario introdurre un nuovo modello atomico. Ma prima di parlarne è necessario affrontare, sia pur brevemente, il problema della natura della radiazione elettromagnetica e dei fenomeni di interazione che essa manifesta con la materia.

Nel Natale del 1900 **Max Planck** ebbe un'intuizione che, come ebbe a dire egli stesso, fu più un atto di disperazione che una vera e propria scoperta scientifica.

Nel tentativo di trovare una equazione che descrivesse correttamente la curva di corpo nero, Planck propose che le onde elettromagnetiche non potessero essere emesse da un radiatore ad un ritmo arbitrario e continuo, ma solo sotto forma di pacchetti d'onde che egli chiamò **quanti**.

Ogni quanto possedeva una certa quantità di energia che dipendeva dalla lunghezza d'onda della luce, secondo la relazione:

$$E = h \nu$$

dove ν è la frequenza della radiazione e h è una nuova costante, detta **costante di Planck**.

Dalla relazione appare evidente come un quanto di luce rossa possa contenere meno energia di un quanto di luce blu. In tal modo un corpo emittente ad una certa temperatura potrebbe avere

energia sufficiente per emettere quanti di luce infrarossa o gialla, ma potrebbe non avere sufficiente energia per emettere neppure un quanto di radiazione X o gamma. In tal modo ad alte frequenze il numero di quanti emessi si ridurrebbe drasticamente (e ciò spiegherebbe ad esempio il paradosso di Jeans).

La cosa incredibile fu che la curva di corpo nero così calcolata era in perfetto accordo con i dati sperimentali.

L'introduzione della costante di Planck che inizialmente poteva sembrare più che altro un espediente per salvare i fenomeni, risultò invece portare con sé una serie di novità sconcertanti e rivoluzionarie all'interno della fisica. Con essa nasce quella parte della fisica moderna che va sotto il nome di **meccanica quantistica** e di cui avremo modo di parlare in seguito.

Planck non portò alle estreme conseguenze il concetto di *quanto di radiazione*. Si limitò semplicemente a verificare che nel caso particolare in cui la materia emetteva radiazione non lo faceva come un flusso continuo, secondo le leggi dell'elettromagnetismo classico, ma, per qualche misterioso motivo, attraverso scariche di particelle di energia dette quanti. L'ipotesi quantistica di Planck ruppe definitivamente con l'idea del continuo per l'energia.

La luce non poteva dunque più essere considerata semplicemente un fenomeno ondulatorio, visto che, almeno in questo caso particolare, i fisici erano costretti a descriverne il comportamento attraverso un modello corpuscolare. D'altra parte il modello corpuscolare quantistico era inapplicabile per spiegare fenomeni tipicamente ondulatori come la diffrazione e l'interferenza.

Nasce l'idea di un **comportamento duale** della luce, la quale richiede due modelli, apparentemente in reciproca contraddizione, per essere descritta. Si utilizza il modello ondulatorio per descrivere i fenomeni di propagazione della radiazione elettromagnetica. Si utilizza il modello corpuscolare per descrivere i fenomeni di interazione con la materia (emissione ed assorbimento).

Pochi anni più tardi, nel **1905 Einstein** confermò la descrizione quantistica della radiazione, utilizzando l'ipotesi di Planck per spiegare l'**effetto fotoelettrico**, fenomeno inspiegabile sulla base della teoria ondulatoria.

Come si è già avuto modo di dire il modello planetario di Rutherford risultava in contraddizione con i principi dell'elettrodinamica classica e doveva pertanto essere corretto. Rimaneva inoltre ancora irrisolto il problema degli spettri a righe, la cui soluzione appariva con molta probabilità legata proprio alla struttura atomica.

Visto il successo ottenuto nella risoluzione del problema del corpo nero e dell'effetto fotoelettrico, attraverso l'introduzione nel formalismo matematico della costante di Planck, **Bohr** decise di tentare la stessa strada anche per risolvere il problema degli spettri a righe.

Preso in considerazione l'atomo di Idrogeno, Bohr introdusse alcune ipotesi in modo da far intervenire all'interno della struttura atomica la costante h .

1^a ipotesi

Esiste uno **stato stazionario** dell'atomo caratterizzato da particolari **orbite circolari** lungo le quali gli elettroni si muovono senza emettere radiazioni elettromagnetiche. Gli elettroni che percorrono tali **orbite stazionarie** possiedono una certa quantità ben definita di energia detta **livello energetico** dell'orbita.

Essendo gli elettroni in equilibrio in tali orbite la forza centrifuga ($\frac{mv^2}{r}$) deve eguagliare la forza di attrazione coulombiana $k \frac{Ze^2}{r^2}$ tra l'elettrone negativo ed il suo nucleo, contenente Z protoni con carica pari alla carica e dell'elettrone. Per l'Idrogeno $Z = 1$ e la relazione diventa

$$\frac{mv^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}$$

da cui si ricava il raggio

$$1) \quad r = \frac{ke^2}{mv^2}$$

2^a ipotesi

A questo punto Bohr impose, del tutto arbitrariamente una **condizione di quantizzazione**. Tra le infinite orbite che soddisfano la 1) sono permesse solo quelle che soddisfano la seguente relazione

$$2) \quad mvr = n \frac{h}{2\pi}$$

dove mvr è il momento della quantità di moto dell'elettrone in orbita attorno al suo nucleo, detto anche **momento angolare orbitale**. $h/2\pi$ prende il nome di **costante di Planck normalizzata** e viene spesso indicata con \hbar (**acca tagliato**) ed n è un numero intero positivo, detto **numero quantico principale**. In pratica Bohr impone una condizione di quantizzazione del momento angolare, che si rivelerà in seguito fondamentale e caratteristica di qualsiasi corpo rotante.

Tale condizione si esprime dicendo che il momento angolare dell'elettrone deve essere un multiplo intero di acca tagliato.

Il momento angolare quantizzato condiziona i valori che possono assumere **il raggio delle orbite** e **l'energia totale** (cinetica + potenziale) o **livello energetico**, che l'elettrone possiede.

Raggi e livelli energetici risultano pertanto anch'essi quantizzati in funzione di n.

Raggio quantizzato: Dalla condizione di quantizzazione del momento angolare si ricava la velocità che sostituita nella 1) fornisce la relazione quantistica del raggio

$$R = n^2 \cdot 5,292 \cdot 10^{-11} m$$

per $n = 1$

$r = 5,292 \cdot 10^{-11} m$ (= 52,92 pm = 0,5292 Å) è il raggio della orbita circolare più vicina al nucleo dell'Idrogeno ed è detto **raggio di Bohr** (a_0).

Energia quantizzata (livello energetico): L'energia associata ad un elettrone in moto su di un'orbita quantizzata si calcola come somma dell'energia cinetica ($\frac{1}{2}mv^2$) e dell'energia potenziale

($-k \frac{e^2}{r}$). Se esplicitiamo dalla 1) la quantità $mv^2 = k \frac{e^2}{r}$ e la sostituiamo nell'espressione dell'energia cinetica, l'energia totale vale

$$E = k \frac{e^2}{2r} - k \frac{e^2}{r} = -k \frac{e^2}{2r}$$

Sostituendo r con il valore quantizzato del raggio si ottiene

$$E = -\frac{2,180 \cdot 10^{-18} J}{n^2}$$

pari a $-13,61 n^{-2} eV$.

Il valore negativo dell'energia deriva dalla convenzione di porre pari a zero l'energia potenziale dell'elettrone a distanza infinita.

Per $n = 1$ l'elettrone si trova nello stato di minima energia possibile, detto **stato fondamentale**. Gli stati caratterizzati da $n > 1$ si dicono **stati eccitati**.

3^a Ipotesi

L'atomo può passare dallo stato fondamentale ad uno eccitato assorbendo energia. In questo modo gli elettroni possono assumere l'energia necessaria per passare da un'orbita più interna ad una più esterna. L'energia assorbita affinché avvenga il **salto quantico** dell'elettrone, o **transizione elettronica**, deve essere esattamente uguale alla differenza di energia esistente tra il livello

energetico superiore e quello inferiore. Quando l'elettrone si trova in un'orbita superiore a quella in cui si trova normalmente, l'atomo possiede un surplus di energia che lo rende instabile (**eccitato**). L'elettrone è quindi destinato a tornare nell'orbita di partenza riemettendo l'energia precedentemente assorbita tramite un fotone la cui energia è appunto pari a

$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$$

La radiazione emessa, avendo una frequenza univocamente determinata dalla differenza di energia esistente tra due particolari livelli energetici, è rigorosamente monocromatica ed apparirà come una ben determinata riga allo spettroscopio.

L'energia emessa durante una transizione da un livello n_2 ad un livello n_1 , con $n_2 > n_1$, è

$$\Delta E = E_2 - E_1 = -\frac{2,180 \cdot 10^{-18}}{n_2^2} - \left(-\frac{2,180 \cdot 10^{-18}}{n_1^2} \right) = 2,180 \cdot 10^{-18} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ joule}$$

Ricordando che $\Delta E = h\nu$ e che $c = \lambda\nu$, sostituendo opportunamente si ottiene $\Delta E = h \frac{c}{\lambda}$, quindi

$$\frac{\Delta E}{hc} = \frac{1}{\lambda} \text{ ed in definitiva}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\Delta E}{hc} = \frac{2,180 \cdot 10^{-18}}{hc} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = 10,974 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) m^{-1}$$

Per calcolare il **numero d'onde** $\tilde{\nu}$ (reciproco della lunghezza d'onda) della riga emessa durante una transizione elettronica, Bohr ritrova dunque, per via teorica, la medesima relazione trovata empiricamente da Balmer: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$

I numeri interi n ed m che nella relazione di Balmer non presentavano alcun significato fisico, nel modello atomico di Bohr diventano rispettivamente il numero quantico del livello più interno n_1 ed il numero quantico del livello più esterno n_2 , tra i quali avviene la transizione.

- Ponendo nella $n_1 = 2$ ed n_2 intero superiore a due si possono trovare tutte le lunghezze d'onda delle righe spettrali prodotte dalle transizioni elettroniche dalle orbite più esterne verso la seconda orbita. Tale righe spettrali corrispondono ovviamente alla **serie di Balmer**.
- Ponendo invece $n_1 = 1$ si ottengono le righe spettrali della **serie di Lyman**, le quali rappresentano dunque le transizioni elettroniche dalle orbite più esterne verso la prima e così via per le altre serie
- Ponendo infine $n_2 = \infty$ si ottiene la lunghezza d'onda che deve possedere la luce con cui irraggiare l'atomo per estrarre l'elettrone e portarlo all'infinito. In altri termini è possibile calcolare teoricamente l'**energia di ionizzazione** dell'atomo.

Il numero quantico principale n può assumere teoricamente tutti i valori compresi tra 1 ed infinito. In pratica però tutti gli atomi conosciuti sistemano i loro elettroni al massimo in 7 livelli energetici, i quali vengono spesso indicati con le lettere K, L, M, N, O, P, Q.

Un altro aspetto notevole del modello di Bohr è che la **costante di Rydberg** viene ad essere calcolata in funzione di costanti note (come la carica dell'elettrone, la sua massa, la velocità della luce, etc) ed il suo valore risulta in ottimo accordo con il valore misurato sperimentalmente.

Il modello di Bohr è in grado di giustificare in modo soddisfacente solo il comportamento spettrale dell'Idrogeno e degli **atomi idrogenoidi** (ioni di altri elementi leggeri con un solo elettrone, come He^+ e Li^{2+}), mentre risulta inadeguato per atomi plurielettronici. D'altra parte quando Bohr impose la sua condizione di quantizzazione non poté darne alcuna giustificazione teorica, se non quella che in tal modo era possibile calcolare il valore numerico della costante di Rydberg e le righe spettrali dell'Idrogeno. Solo una decina di anni più tardi Louis De Broglie, avrebbe dimostrato che la condizione imposta da Bohr era una conseguenza della natura ondulatoria dell'elettrone.

Tra il 1913 ed il 1914 venne un'ulteriore conferma del modello atomico di Bohr, grazie agli esperimenti condotti da **Moseley** sugli spettri di emissione a righe nella regione della radiazione X di vari elementi chimici.

Quando un elettrone del primo livello energetico (livello K) viene espulso, in seguito ad una collisione con un elettrone proiettile o in seguito ad irradiazione con fotoni altamente energetici (gli elettroni del primo livello sono fortemente legati), il suo posto può essere occupato da un elettrone presente nei livelli superiori. Se l'elettrone proviene dal livello L ($n = 2$) la riga spettrale che si forma è detta K_{α} , se proviene dal livello M ($n = 3$) è detta K_{β} , e così via.

Se l'elettrone inizialmente espulso interessa il livello L, le righe che si formano per transizione elettronica dagli strati superiori M, N... sono dette L_{α} , L_{β} ...

La serie K è sostanzialmente analoga alla serie di Lyman per l'idrogeno, ma si manifesta nella regione X.

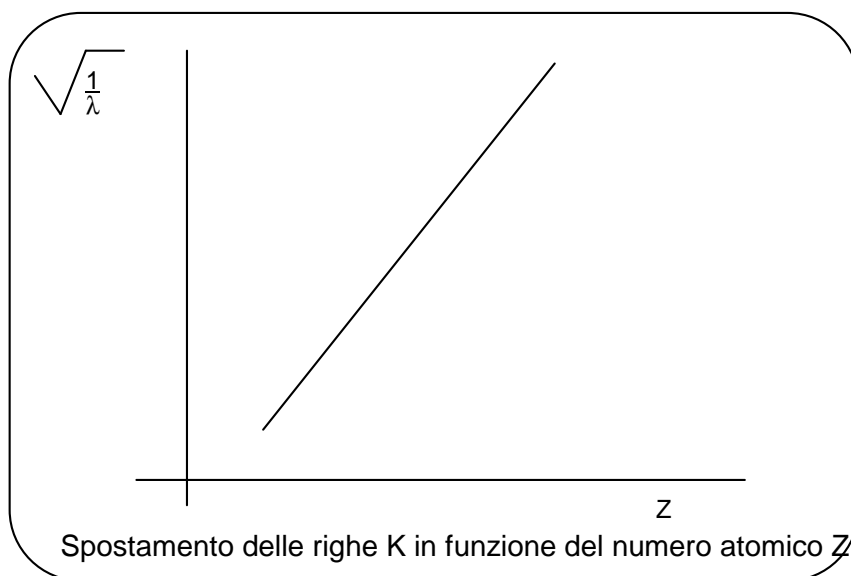
Le diverse righe della serie K presentano naturalmente un valore diverso nei vari elementi chimici, a causa delle differenze di energia esistenti tra livelli energetici dello stesso tipo in atomi aventi una diversa carica nucleare Z.

Moseley dimostrò che la riga più intensa di questi spettri (riga K_{α}) si spostava regolarmente quando si passava da un elemento al successivo nella tavola periodica e che la lunghezza d'onda di tale riga si poteva esprimere in funzione del numero atomico Z, attraverso una relazione sostanzialmente analoga alla relazione di Balmer

$$\frac{1}{\lambda} = (Z-a)^2 \cdot R \cdot \left(\frac{1}{(n_a)^2} - \frac{1}{(n_b)^2} \right)$$

dove a è la **costante di schermo**, introdotta per tener conto del fatto che la carica del nucleo "vista" da ciascun elettrone è, a causa della presenza degli altri elettroni, inferiore a Ze.

Per la riga K_{α} la relazione diventa



$$\frac{1}{\lambda} = (Z-a)^2 \cdot R \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = (Z-a)^2 \cdot R \cdot \frac{3}{4}$$

La relazione dimostra che la radice quadrata della lunghezza d'onda è inversamente proporzionale al numero atomico Z .

Ciò, oltre a confermare il modello di Bohr, permise, da una parte di dare al numero atomico Z il suo significato preciso di numero di cariche elettriche concentrate nel nucleo (e quindi anche di numero di elettroni orbitanti esternamente per rendere l'atomo neutro), dall'altra di ordinare correttamente gli elementi nella tavola periodica secondo il numero atomico crescente e non secondo il peso atomico crescente. Gli elementi devono infatti essere ordinati con lo stesso ordine con cui si succedono le righe della serie K. Risultò ad esempio che il Co precede il Ni e non viceversa.

Del 1914 sono gli esperimenti condotti da **J. Franck** e **G. Hertz** (nipote di H. Hertz) che dimostrarono in modo conclusivo, non solo l'esistenza degli stati stazionari postulati da Bohr, ma anche che i salti quantici degli elettroni avvenivano effettivamente secondo le regole di quantizzazione teorizzate.

Nel 1921 **Otto Stern** e **W. Gerlach** verificarono un'altra conseguenza della teoria di Bohr. Infatti non solo le singole orbite, ma anche l'intero atomo deve possedere un momento angolare quantizzato, calcolato come vettore risultante dei singoli momenti interni.

In pratica quindi anche l'intero atomo (se possiede un momento magnetico risultante netto) può assumere solo orientazioni spaziali discrete.

Tra le ipotesi iniziali di Bohr vi era quella che le orbite degli elettroni fossero circolari. Si trattava di un'ipotesi semplificatrice visto che la teoria di Bohr si basa sulla legge di Coulomb, formalmente simile alla legge di gravitazione universale, la quale costringe i corpi a ruotare intorno ad un baricentro comune su orbite ellittiche (la circonferenza può essere considerata un caso particolare di ellisse, con $e = 0$).

Nel 1915 **A. Sommerfeld** portò delle modificazioni al modello iniziale di Bohr, introducendo appunto delle **orbite ellittiche** in cui il nucleo occupava uno dei due fuochi, in modo del tutto analogo a quanto accade per le orbite planetarie.

Egli dimostrò che mentre nel primo livello l'elettrone poteva percorrere solo un'orbita circolare. nel secondo livello oltre ad un'orbita circolare l'elettrone avrebbe potuto occupare con la stessa energia, anche un'orbita ellittica avente l'asse maggiore della stessa lunghezza del diametro dell'orbita circolare.

Nel terzo livello era poi possibile per l'elettrone occupare, oltre all'orbita circolare due orbite ellittiche aventi assi maggiori uguali al diametro dell'orbita circolare, ma diversa eccentricità e così via.

L'introduzione delle orbite ellittiche sembrò rappresentare inizialmente una inutile complicazione nei calcoli. Esse permisero invece di risolvere il problema della cosiddetta **struttura fine delle righe spettrali**.

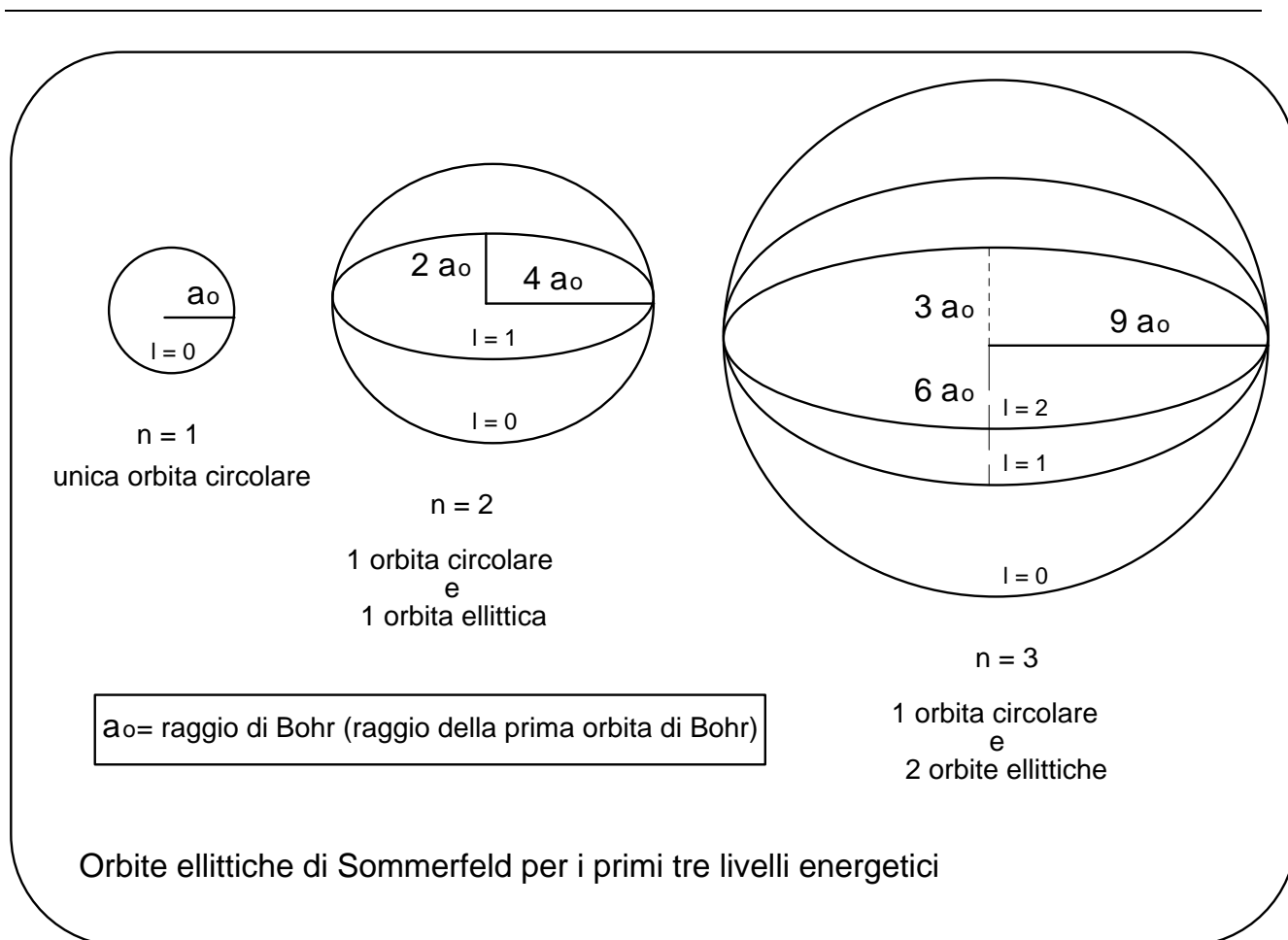
Con l'affinamento delle tecniche spettroscopiche risultò infatti che, utilizzando maggiori risoluzioni, ciascuna riga spettrale appariva composta da una serie di sottili righe molto ravvicinate, ad indicare la probabile esistenza di **sottolivelli** all'interno di ciascun livello energetico principale.

La teoria di Bohr era una teoria non relativistica, nel senso che non utilizzava nel suo formalismo le relazioni della relatività speciale. In effetti le equazioni della relatività speciale possono essere trascurate senza incorrere in errori eccessivi se i corpi che si stanno studiando presentano velocità molto inferiori alla velocità della luce. Nel caso la velocità del corpo oggetto di studio si avvicini a

quella della luce, la relatività dimostra che la massa del corpo non rimane costante ma cresce al crescere della velocità in modo sensibile.

Tenendo presente che gli elettroni viaggiano a velocità molto elevate intorno al nucleo atomico, Sommerfeld introdusse le condizioni relativistiche nel modello di Bohr.

In pratica, ricordando che nel moto lungo un'ellisse l'elettrone è costretto a viaggiare più velocemente quando si trova più vicino al nucleo e più lentamente quando si trova più distante, la massa elettronica subisce delle modificazioni, aumentando in prossimità del nucleo e diminuendo nel punto più distante. Ciò comporta una diversificazione, seppur minima, delle energie associate alle orbite ellittiche, le quali non coincidono più con le energie delle orbite circolari del livello di appartenenza.



L'introduzione delle condizioni relativistiche da parte di Sommerfeld permise di spiegare in parte la struttura fine dello spettro.

Le orbite ellittiche di Sommerfeld resero però necessaria l'introduzione di un altro numero quantico detto **numero quantico secondario** o **azimutale** indicato con l .

l è un numero intero positivo il cui valore dipende dal valore assunto da n

$$0 \leq l \leq n - 1$$

Quindi

se $n = 1$ $l = 0$ → orbita di **tipo s**

(ciò significa che nel primo livello vi è una sola orbita circolare, indicata appunto con $l = 0$, o anche con la lettera 's').

se $n = 2$ $l = 0$ → orbita di **tipo s**

$l = 1$ → orbita di **tipo p**

(ciò significa che nel secondo livello oltre ad una orbita circolare ($l = 0$), naturalmente di diametro maggiore della precedente, vi è anche un'orbita ellittica ($l = 1$) indicata anche con la lettera 'p'.

se $n = 3$ $l = 0$ → orbita di **tipo s**

$l = 1$ → orbita di **tipo p**

$l = 2$ → orbita di **tipo d**

(ciò significa che nel terzo livello possono trovar posto oltre ad un'orbita circolare s ed una ellittica di tipo p, una seconda orbita ellittica ($l = 2$), avente naturalmente eccentricità differente, indicata anche con la lettera 'd'.

se $n = 4$ $l = 0$ → orbita di **tipo s**

$l = 1$ → orbita di **tipo p**

$l = 2$ → orbita di **tipo d**

$l = 3$ → orbita di **tipo f**

(ciò significa che nel quarto livello, oltre alle precedenti orbite può trovar posto una terza orbita ellittica ($l = 3$), avente forma diversa ed indicata con la lettera 'f'.

In pratica il numero quantico secondario determina la **forma** dell'orbita descritta dall'elettrone. Comunemente però i quattro tipi di orbite possibili vengono per semplicità indicate con le lettere s, p, d ed f.

Le lettere s, p, d, f sono le iniziali dei termini con cui storicamente venivano indicate in spettroscopia le righe corrispondenti; **sharp**, **principal**, **diffuse** e **fundamental**.

APPENDICE F: IL RISO: il comico secondo Bergson e l'umorismo di Pirandello

IL COMICO SECONDO BERGSON

Le riflessioni di Bergson sulla natura della comicità sono racchiuse in un breve libro, intitolato *Il riso. Saggio sul significato del comico* (1900), destinato ad un successo travolgente: ebbe infatti più di sessanta edizioni in poco più di quarant'anni, grazie anche alla leggerezza dello stile che rende tanto più piacevolmente leggibile un'opera che è peraltro assai più impegnativa e ricca di quanto non sembri.

Quest'opera si situa in una fase importante dell'evoluzione del pensiero bergsoniano: si colloca infatti negli anni in cui da interessi prevalentemente psicologico-filosofici Bergson muove verso una filosofia della vita orientata metafisicamente. Il saggio sul riso accomuna dunque, come vedremo, queste due tendenze della speculazione di Bergson e rappresenta quindi una possibile introduzione al suo pensiero.

Un'idea antica: il riso ha una funzione sociale.

Nelle pagine di questo suo libro, Bergson muove innanzitutto da una constatazione di natura generale: se il riso è un gesto che appartiene a pieno titolo al comportamento umano, allora deve essere lecito domandarsi qual è il fine che lo anima. Ora, per comprendere il fine cui mira un comportamento si deve in primo luogo far luce sulle occasioni in cui accade. E per Bergson vi sono almeno tre punti che debbono essere a questo proposito sottolineati:

- 1) "Non vi è nulla di comico al di fuori di ciò che è propriamente umano". Questa affermazione può lasciarci di primo acchito perplessi: si può ridere infatti anche di un cappello o di un burattino di legno. E tuttavia, se non ci si ferma a questa constatazione in sé ovvia, si deve riconoscere che in questi casi il rimando a ciò che è umano gioca un ruolo prevalente e

comunque ineliminabile: di un cappello ridiamo perché vi vediamo espresso un qualche capriccio estetico dell'uomo, così come nella marionetta l'immaginazione scorge i gesti impacciati di un uomo sgraziato. Alla massima antica secondo la quale l'uomo È l'animale che ride si deve affiancarne dunque una moderna: l'uomo È un animale che fa ridere.

2) Il riso scaturisce solo di fronte a ciò che appartiene direttamente o indirettamente all'ambito propriamente umano; perché possa tuttavia scaturire è necessario che chi ride non si lasci coinvolgere emotivamente dalla scena che lo diverte. Per ridere di una piccola disgrazia altrui dobbiamo far tacere per un attimo la pietà e la simpatia, e porci come semplici spettatori o - per esprimerci come Bergson - come intelligenze pure: "il comico esige dunque, per produrre tutto il suo effetto, qualcosa come un'anestesia momentanea del cuore".

3) Il riso chiede una sorta di sospensione del legame di simpatia che ci lega a colui di cui ridiamo. E tuttavia tutti sappiamo che il riso È un'esperienza corale: ridiamo meglio quando siamo insieme ad altri, ed il riso È spesso il cemento che tiene unito un gruppo di persone. "Il riso, - commenta Bergson - [...] cela sempre un pensiero nascosto di intesa, direi quasi di complicità, con altre persone che ridono, reali o immaginarie che siano".

Non è difficile scorgere la nota che accomuna queste tre osservazioni generali: il riso sembra essere strettamente connesso con la vita sociale dell'uomo, con il suo essere un animale sociale. Possiamo allora - seguendo Bergson - far convergere i tre punti su cui abbiamo dianzi richiamato l'attenzione in un'unica tesi, che getta appunto la sua luce sul quando del riso: "Il "comico" nasce quando uomini riuniti in un gruppo dirigono l'attenzione su uno di loro, facendo tacere la loro sensibilità, ed esercitando solo la loro intelligenza". E se le cose stanno così, se il riso come comportamento umano sorge nella vita associata, allora si può supporre che esso risponda a determinate esigenze della vita sociale.

Il riso ed il diavolo a molla.

Per far luce sul motivo che ci spinge a ridere non basta indicare quando ridiamo: occorre riflettere anche su ciò di cui ridiamo. Orientarsi in questa seconda parte delle analisi vuol dire innanzitutto lasciarsi guidare dagli esempi, e tra questi uno gode di una posizione privilegiata proprio per la sua estrema semplicità: il gioco del diavolo a molla. "Noi tutti abbiamo giocato [...] col diavolo che esce dalla sua scatola. Lo si schiaccia ed ecco si raddrizza; lo si ricaccia più in basso ed esso rimbalza più in alto, lo si scaccia sotto il coperchio ed esso fa saltare tutto" scrive Bergson, e propone subito dopo un'osservazione che ci spiega perché un simile gioco possa far ridere un bambino: "E' il conflitto di due ostinazioni, di cui l'una puramente meccanica finisce ordinariamente per cedere all'altra, che se ne prende gioco". Del diavolo ci fa ridere la cieca ostinazione, il suo "saltar su" come una molla: È dunque il comportamento rigidamente meccanico di ciò che pure nel gioco vale come un essere dotato di un'autonoma volontà a far ridere il bambino.

Un comportamento rigidamente meccanico applicato a ciò che è (o immaginiamo che sia) vivente: su questa tesi dobbiamo riflettere perché per Bergson circoscrive in modo sufficientemente preciso l'ambito del comico.

Molti esempi di comicità possono esserle immediatamente ricondotti: una marionetta ci fa ridere perché i suoi gesti sono rigidi e meccanici, ed è per questa stessa ragione che ci sembra ridicolo chi - giunto in fondo alle scale - tenta di scendere anche da un ultimo inesistente gradino, con un gesto goffo che non è motivato da un fine reale, ma solo dal meccanismo acquisito della discesa. Altri invece ci costringono a disporci nella prospettiva propria dell'immaginazione che con le definizioni non procede con la stessa metodica precisione dell'intelletto: così, non dobbiamo stupirci se il *topos* della meccanicità si estende per l'immaginazione fino a coprire campi che non sembrano in senso stretto spettarle. Per l'immaginazione una macchina È innanzitutto ripetitiva: di qui la comicità che sorge dalla ripetizione dei gesti, delle azioni, dei pensieri. "Due volti simili, ciascuno dei quali preso isolatamente non fa ridere, presi insieme fanno ridere per la loro somiglianza" - diceva Pascal, e

tutti sappiamo come un tic fisico o intellettuale (una frase, sempre la stessa, ripetuta troppo di sovente) sia causa di ilarità. Ma un meccanismo non è solo ripetizione: è anche - a dispetto del movimento - staticità. Una macchina è inchiodata alla sua funzione: così, chi voglia fare una caricatura, saprà farci ridere solo a patto di ritrarre nel volto una piega espressiva solidificata in un tratto stabile della fisionomia, un'espressione cui la macchina dei lineamenti non sa più sottrarsi. Nell'immagine della macchina si cela infine anche l'idea dell'ostinazione cieca, del movimento che non sa più aderire al presente, ma segue una regola tanto fissa quanto sorda alle esigenze del momento. Basta dunque che questa immagine si sovrapponga alla vita umana perché il riso si faccia avanti. Una simile sovrapposizione si ha per esempio

quando l'anima ci si mostrerà contrariata dai bisogni del corpo - da un lato la personalità morale con la sua energia intelligentemente variata, dall'altra il corpo stupidamente monotono interrompente sempre ogni cosa con la sua esigenza di macchina. Quanto più queste esigenze del corpo saranno meschine ed uniformemente ripetute, tanto più l'effetto sarà vivo.

Non è dunque un caso - commenta Bergson - se i personaggi tragici debbono tenersi lontani da gesti che tradiscano le esigenze della corporeità, mentre il commediografo potrà senz'altro ottenere il riso del pubblico rappresentando i suoi personaggi comici in preda a un malanno o ad un fastidioso singhiozzo che interrompe ogni loro discorso.

Proprio come la vita dello spirito può essere ostacolata nel suo realizzarsi dalle esigenze della macchina corporea, così la forma della vita sociale può soffocare il senso. La lettera - le regole e le convenzioni sociali - si sovrappone alla sostanza - la vita in comune, e dalla contemplazione di questo travestimento della vita sorge la comicità: il deputato che interpellando il ministro su di un assassinio famoso rammenta che il colpevole, dopo aver ucciso la vittima, È sceso dal treno in senso contrario alla sua direzione, violando così il regolamento, è - per Bergson - comico perché in lui l'adesione alla regola ha soffocato la comprensione della vita.

Potremo soffermarci ancora sulle strade che l'immaginazione comica percorre, e non sarebbe difficile mostrare come a partire dalle poche cose che abbiamo detto possano comprendersi le ragioni che ci spingono a ridere dei travestimenti o - e su questo punto dovremo in seguito ritornare - dei vizi di natura morale. Per ora ci basta invece il risultato cui siamo pervenuti: ciò di cui ridiamo è - per Bergson - tutto ciò in cui l'immaginazione scorge una sorta di meccanicizzazione della vita.

Il riso come castigo sociale.

La comicità morale e la funzione sociale della commedia. Le considerazioni che abbiamo sin qui svolto ci permettono di formulare ora, senza ulteriori indugi, una risposta alla domanda da cui avevamo preso le mosse, - la domanda sul fine che il riso persegue. Il riso - avevamo osservato - deve avere una funzione sociale, e sorge - aggiungiamo ora - dalla constatazione di una sorta di contraddizione: ciò che dovrebbe comportarsi in modo libero e vivo sembra assoggettare i suoi gesti a leggi meccaniche, alla cieca ostinazione del meccanismo. Al riso spetta dunque il compito di sanare questa contraddizione, richiamando quella parte della società (reale o immaginaria) che è colpevole di un comportamento rigido e ostinato ad un atteggiamento più elastico, ad uno stile di vita più duttile e desto. Il riso è quindi un castigo sociale:.

È comico - scrive Bergson - qualunque individuo che segua automaticamente il suo cammino senza darsi pensiero di prendere contatto con gli altri. Il riso è là per correggere la sua distrazione e per svegliarlo dal suo sogno. [...]. Tutte le piccole società che si formano sulla grande sono portate, per un vago istinto, ad inventare una moda per correggere e per addolcire la rigidità delle abitudini contratte altrove, e che sono da modificare. La Società propriamente detta non procede diversamente: bisogna che ciascuno dei suoi membri stia attento a ciò che gli È intorno, si modelli su quello che lo circonda, eviti infine di rinchiudersi nel suo carattere come in una torre di avorio. Perciò essa fa dominare su ciascuno, se non la minaccia di una correzione, per lo meno la prospettiva di un'umiliazione che per quanto leggera non è meno temibile. Tale si presenta la

funzione del riso. Sempre un po' umiliante per chi ne è l'oggetto, il riso è veramente una specie di castigo sociale.

Di questa funzione sociale del riso, la commedia È per Bergson un'espressione esemplare. Tra tutte le forme di comicità una in particolare sembra stringere un rapporto strettissimo con la sfera sociale: È la comicità morale. Le passioni spesso si prendono gioco di noi e subordinano tutte le nostre azioni ad un unico meccanismo. E' questo ciò che accade ai personaggi comici di molte commedie: lo spettatore È chiamato a ridere di un uomo, i cui gesti sembrano quelli di una marionetta, mossa da un burattinaio - la gelosia, l'avarizia, la pavidità, ecc. - che ci è ben noto e di cui sappiamo prevedere i movimenti. Di qui la forma di tante commedie che hanno per protagonisti non già individualità ben determinate, ma personaggi tipici, marionette dietro alle quali traspare la passione che li domina. Ma di qui anche il fine che si prefiggono: correggere, ridendo, i costumi. Alle forme propriamente artistiche, caratterizzate dall'assoluta assenza di finalità pratiche si deve contrapporre dunque la commedia, che è - per Bergson - una forma artistica spuria, proprio perché affonda le sue radici nella vita e perché alla vita ritorna come ad un valore da salvaguardare e cui sottomettere i propri sforzi.

Vi è tuttavia una seconda ragione che spinge Bergson a dedicare tanto spazio alle considerazioni sulla commedia, ed è propriamente il carattere per così dire teatrale della comicità. Possiamo ridere soltanto quando la rigidità di un carattere o di un comportamento si fa gesto e si mostra apertamente agli occhi dell'immaginazione: non ci basta sapere che la paura della morte ha trasformato Argan in un burattino; per ridere dobbiamo vedere i gesti in cui la riduzione dell'uomo a cosa si fa spettacolo. Ma lo spettacolo comico implica uno spettatore che sappia per un attimo guardare alla vita come ad una rappresentazione teatrale:

Da ciò il carattere equivoco del comico. Esso non appartiene né completamente all'arte, né completamente alla vita. Da un lato i personaggi della vita reale non ci farebbero mai ridere se noi non fossimo capaci di assistere alle loro vicende come ad uno spettacolo visto dall'alto di una loggia; essi sono comici ai nostri occhi solo perché ci danno la commedia. Ma d'altra parte, anche a teatro, il piacere di ridere non è puro, cioè esclusivamente estetico, assolutamente disinteressato. Vi si associa sempre un pensiero occulto che la società ha per noi quando non l'abbiamo noi stessi; vi è sempre l'intenzione non confessata di umiliare e con ciò, è vero, di correggere, almeno esteriormente".

Il riso sorge così come un gesto che per strappare la vita dalla sua negazione implica una momentanea sospensione della vita stessa: È dunque una contemplazione della vita volta a sanare i pericoli che la mettono in forse.

L'UMORISMO SECONDO PIRANDELLO

Al nome di Pirandello si lega innanzitutto un'ampia produzione letteraria che abbraccia opere di teatro, racconti e romanzi, e che fa del suo autore una delle figure più significative del panorama della letteratura

europea del Novecento. Tuttavia, accanto al Pirandello letterato, vi è anche un Pirandello saggista che approfondisce con gli strumenti della critica e della riflessione filosofica alcuni temi della sua opera letteraria. È in questa luce che si colloca *L'umorismo*, un saggio pubblicato nel 1908 che raccoglie parzialmente le lezioni tenute da Pirandello all'Istituto Superiore di Magistero di Roma e che si divide in due parti ben distinte: una di carattere storico-letterario, l'altra di natura filosofica. Il libro è dedicato alla memoria della buon anima di Fu Mattia Pascal bibliotecario: il Pirandello filosofo si riconnette così al Pirandello letterato, impedendoci di tracciare un confine troppo netto tra gli ambiti della sua produzione.

L'essenza dell'umorismo.

Tra le prime reazioni al saggio pirandelliano vi fu una breve recensione di croce, pubblicata nel 1909 su "La Critica". Croce sembra essere in parte infastidito dallo spettacolo di un letterato che da filosofo affronta un tema - l'umorismo - senza nemmeno soffermarsi su ciò che egli aveva a suo tempo scritto su questo argomento. E tuttavia, al di là di queste motivazioni di basso profilo, all'origine della polemica vi è una differenza di natura teorica: per Croce, infatti, un'essenza dell'umorismo non vi è, poiché vi è soltanto l'atteggiamento storicamente mutevole che i singoli umoristi assumono nelle loro opere. Vi sono umoristi, ma non l'umorismo: cercare di fissarne l'essenza significa allora, per Croce, perdersi nelle analisi psicologiche tanto care alla cultura positivista, ma così lontane dalle prospettive dell'idealismo storicistico verso cui Croce sente di doversi orientare.

Al contrario, le pagine pirandelliane sono caratterizzate dalla convinzione che un'essenza dell'umorismo vi sia e che debba essere indagata proprio nei termini psicologici suggeriti dalla cultura positivista ed in particolare da Theodor Lipps - un autore che Pirandello critica, ma da cui almeno in parte dipende. Così Pirandello si discosta sin da principio da ogni tentativo di rendere conto della natura dell'umorismo nei termini di un'indagine storico-letteraria: a suo avviso, l'umorismo non è affatto una forma dello spirito sorta nella letteratura moderna dell'Europa settentrionale, come pure si era più volte sostenuto. L'umorismo non è una categoria storica, ma è un concetto che circoscrive un comportamento umano relativamente stabile nel tempo e comunque indagabile con gli strumenti dell'indagine psicologica. Su questo punto, dunque, Pirandello è vicino allo psicologismo di fine Ottocento, anche se, come vedremo, la riflessione sull'umorismo si staglia su di uno sfondo di natura esistenziale: l'analisi dei meccanismi psicologici dell'umorismo diviene così una riflessione tipicamente novecentesca su di *una struttura di fondo dell'esistenza*, su un modo di atteggiarsi dell'uomo rispetto alla propria vita ed al mondo.

Il sentimento del contrario.

Nella definizione del concetto di umorismo o meglio nella descrizione di "quell'intimo processo che avviene, e che non può non avvenire, in tutti quegli scrittori che si dicono umoristi" Pirandello dipende senz'altro da Lipps, e per Lipps l'umorismo affonda le sue radici nella comicità poiché è appunto *un superamento del comico attraverso il comico*.

Ora, per Pirandello come per altri autori, la comicità sorge dalla constatazione dell'inadeguatezza di un comportamento, di un modo di dire, di un gesto o anche soltanto di un viso: ci basta infatti imbatterci in una donna anziana truccata vistosamente, quasi a suggerire l'immagine di una giovinezza ormai inesorabilmente passata, perché - nota Pirandello - il riso si faccia avanti.- di qui la definizione proposta da Pirandello: la comicità nasce dall'*avvertimento del contrario*. La realtà non è come ci si vorrebbe far credere, e ridendo esprimiamo il nostro verdetto di condanna sulle apparenze e ribadiamo la loro difformità dal vero.

Dalla comicità passiamo tuttavia all'umorismo quando il contrasto non è più soltanto avvertito, ma è per così dire colto in tutta la pienezza del suo significato: l'umorismo è appunto il *sentimento del contrario*.

Non si tratta di definizioni ben scelte, anche perché esse illuminano soltanto l'esito finale di quell'*intimo processo* che Pirandello ha cuore. Tuttavia, se non ci fermiamo alle parole, ma cerchiamo di far luce sul loro significato, il senso della proposta pirandelliana si fa più chiaro e convincente. L'umorismo poggia sul terreno mobile della comicità: ha origine dunque dall'avvertimento del contrario e dalla condanna che, ridendo, pronunciamo. Ma l'umorismo è superamento della comicità: implica dunque la presenza di un operatore nuovo - la *riflessione* - che ci permetta di lasciare alle nostre spalle la comicità.

Due sono le funzioni che la riflessione esercita. La *prima* consiste nel mettere a distanza noi stessi: la riflessione ci permette di infatti di analizzare freddamente i nostri stati d'animo, ci consente di giudicarli, vagliando e soppesando i motivi che li hanno determinati. Di qui il *secondo* compito cui

la riflessione assolve: riflettendo sui nostri stati d'animo, impariamo anche a *relativizzarli*, a cogliere le ragioni di ciò che avevamo precedentemente negato.

Torniamo allora alla situazione comica da cui avevamo precedentemente preso le mosse: dalla vecchia che si maschera da giovane e che, proprio per questo, desta lo spirito critico della comicità. Questa volta tuttavia il riso non riempie per intera la coscienza, ma cede la scena alla riflessione che ci mostra ciò che di ingenuo è racchiuso nel gesto di negazione della soggettività: certo, è ridicolo chi non sa accettare il trascorrere del tempo, ma è ben vero che basta riflettere un poco per scoprire che tutti cerchiamo di esorcizzare la vecchiaia e la morte. Ridiamo, ma la riflessione ci costringe a scoprire le ragioni di ciò che è deriso, apre una breccia nello stato d'animo che ci separa dall'altro e riscopre una comunanza che la comicità aveva negato. Continuiamo ad avvertire il contrario che ci fa ridere, ma ora ne avvertiamo le ragioni e impariamo a scorgere nell'inadeguatezza comica una contraddizione insita nella stessa natura umana:

la riflessione - commenta Pirandello - lavorando in me, mi ha fatto andar oltre quel primo avvertimento, o piuttosto più addentro: da quel primo *avvertimento del contrario* mi ha fatto passare a questo sentimento del contrario. Ed è tutta qui la differenza tra il comico e l'umoristico.

La riflessione e la letteratura umoristica.

Sottolineare il ruolo della riflessione nell'umorismo è importante anche perché Pirandello muove di qui per indicare alcuni tratti caratteristici dello stile delle opere umoristiche. L'umorismo chiede che il soggetto non sia dominato dalle passioni: l'umorista dovrà saper raccontare senza "lasciarsi prendere la mano" dalla storia che viene narrando.

Di qui alcuni tratti caratteristici della letteratura umoristica. In primo luogo la sua tendenza alle digressioni: l'umorismo spezza di frequente l'unità della trama per inserire un nuovo e differente punto di vista che permetta di relativizzare l'intreccio delle passioni e dei sentimenti. Questo stesso obiettivo può tuttavia essere raggiunto, in secondo luogo, grazie all'intervento diretto dell'autore che, commentando in qualche modo gli eventi, ci costringe ad abbandonare la nostra posizione di lettori, immersi nella vicenda, per divenire ad un tratto solidali con una posizione ad essa esterna, con una prospettiva che, proprio per essere sita al di là della trama, può facilmente divenire umoristica.

Nel raccogliere queste poche osservazioni, Pirandello sembra pensare ad autori come Manzoni o Sterne: nei tratti che abbiamo appena indicato non sarebbe tuttavia illegittimo scorgere anche alcune delle caratteristiche più tipiche dello stile pirandelliano.

L'umorismo e la filosofia di Pirandello.

Chiediamoci ora quali sono le ragioni che spingono Pirandello a riflettere con tanto impegno su questo tema. Ora, la risposta a questo interrogativo traspare nelle ultime pagine del suo saggio e può essere formulata così: *l'umorismo è un tratto essenziale della condizione umana* e fa tutt'uno con la *filosofia della vita* che anche in questo saggio Pirandello fa sua.

La prima significativa opera in cui Pirandello delinea una filosofia dell'esistenza e della condizione umana è senz'altro *Il fu Mattia Pascal*, ed è proprio alla buon'anima di quel bibliotecario che è dedicato il saggio sull'umorismo. Si tratta di una scelta su cui è opportuno riflettere e che ci costringe innanzitutto a far luce sull'elemento umoristico del romanzo, un elemento che traspare con chiarezza nell'apologo finale che ci presenta Mattia Pascal nell'atto di deporre fiori sulla sua tomba.

Vi è un senso in cui questa scena è senz'altro comica: quale gesto può sembrarci più ridicolo e sciocco che portare fiori sulla tomba di un vivo? E tuttavia l'avvertimento del contrario può facilmente trapassare nel suo sentimento: non solo Mattia Pascal, ma ogni uomo seppellisce se stesso poiché rimane impaniato nelle forme morte dell'esistenza, in quelle convenzioni ed abitudini che si sedimentano col tempo, rendendo invisibile il fluire continuo della vita che al di là da esse scorre inesorabilmente.

In questa filosofia della vita, in cui è chiara l'eco di Bergson o di Simmel, non è difficile scorgere la genesi di molti temi pirandelliani, ed anche la sua dottrina dell'umorismo affonda qui le sue radici. Sostenere che la vita si è persa ed arenata nelle sue morte forme vuol dire infatti alludere ad una situazione, in ultima istanza, comica: l'uomo è diventato prigioniero delle convenzioni e le sue azioni rammentano quelle di un burattino - e il burattino è un luogo classico della comicità. Dalla comicità all'umorismo il passo è breve: basta rendersi conto che l'irrigidimento della vita che ci spinge a ridere di un qualche personaggio è in realtà un tratto caratteristico della natura umana. Il riso ingenuo e aperto che sorge non appena cogliamo nei gesti di un uomo la meccanica rigidità del burattino, si vena di tristezza e di amarezza non appena impariamo a ritrovare nel burattino l'uomo. L'atteggiamento umoristico si pone così, in Pirandello, come il frutto cui conduce un'amara filosofia dell'esistenza.

APPENDICE G: DUBLINERS-ARABY AND ULYSSES

Dubliners contains fifteen portraits of life in the Irish capital. Joyce focuses on children and adults who skirt the middle class, such as housemaids, office clerks, music teachers, students, shop girls, swindlers, and out-of-luck businessmen. Joyce envisioned his collection as a looking glass with which the Irish could observe and study themselves. In most of the stories, Joyce uses a detached but highly perceptive narrative voice that displays these lives to the reader in precise detail. Rather than present intricate dramas with complex plots, these stories sketch daily situations in which not much seems to happen—a boy visits a bazaar, a woman buys sweets for holiday festivities, a man reunites with an old friend over a few drinks. Though these events may not appear profound, the characters' intensely personal and often tragic revelations certainly are. The stories in Dubliners peer into the homes, hearts, and minds of people whose lives connect and intermingle through the shared space and spirit of Dublin. A character from one story will mention the name of a character in another story, and stories often have settings that appear in other stories. Such subtle connections create a sense of shared experience and evoke a map of Dublin life that Joyce would return to again and again in his later works.

There are some important themes, motifs and symbols in Dubliners, the mains are:

The Prison of Routine

Restrictive routines and the repetitive, mundane details of everyday life mark the lives of Joyce's Dubliners and trap them in circles of frustration, restraint, and violence. Routine affects characters who face difficult predicaments, but it also affects characters who have little open conflict in their lives. The young boy of "An Encounter" yearns for a respite from the rather innocent routine of school, only to find himself sitting in a field listening to a man recycle disturbing thoughts. In "Counterparts," Farrington, who makes a living copying documents, demonstrates the dangerous potential of repetition. Farrington's work mirrors his social and home life, causing his anger—and abusive behaviour—to worsen. Farrington, with his explosive physical reactions, illustrates more than any other character the brutal ramifications of a repetitive existence.

The most consistent consequences of following mundane routines are loneliness and unrequited love.

In "Araby," a young boy wants to go to the bazaar to buy a gift for the girl he loves, but he is late because his uncle becomes mired in the routine of his workday. In "A Painful Case" Mr. Duffy's obsession with his predictable life costs him a golden chance at love.

Eveline, in the story that shares her name, gives up her chance at love by choosing her familiar life over an unknown adventure, even though her familiar routines are tinged with sadness and abuse. The circularity of these Dubliners' lives effectively traps them, preventing them from being receptive to new experiences and happiness.

The Desire for Escape

The characters in Dubliners may be citizens of the Irish capital, but many of them long for escape and adventure in other countries. Such longings, however, are never actually realized by the stories' protagonists. The schoolboy yearning for escape and Wild West excitement in "An Encounter" is relegated to the imagination and to the confines of Dublin, while Eveline's hopes for a new life in Argentina dissolve on the docks of the city's river. Little Chandler enviously fantasizes about the London press job of his old friend and his travels to liberal cities like Paris, but the shame he feels about such desires stops him from taking action to pursue similar goals. More often than offering a literal escape from a physical place, the stories tell of opportunities to escape from smaller, more personal restraints. Eveline, for example, seeks release from domestic duties through marriage. In "Two Gallants," Lenehan wishes to escape his life of schemes, but he cannot take action to do so. Mr. Doran wishes to escape marrying Polly in "A Boarding House," but he knows he must relent. The impulse to escape from unhappy situations defines Joyce's Dubliners, as does the inability to actually undertake the process.

The Intersection of Life and Death

Dubliners opens with "The Sisters," which explores death and the process of remembering the dead, and closes with "The Dead," which invokes the quiet calm of snow that covers both the dead and the living. These stories bookend the collection and emphasize its consistent focus on the meeting point between life and death. Encounters between the newly dead and the living, such as in "The Sisters" and "A Painful Case," explicitly explore this meeting point, showing what kind of aftershocks a death can have for the living. Mr. Duffy, for example, re-evaluates his life after learning about Mrs. Sinico's death in "A Painful Case," while the narrator of "The Sisters" doesn't know what to feel upon the death of the priest. In other stories, including "Eveline," "Ivy Day in the Committee Room," and "The Dead," memories of the dead haunt the living and color every action. In "Ivy Day," for example, Parnell hovers in the political talk.

The dead cast a shadow on the present, drawing attention to the mistakes and failures that people make generation after generation. Such overlap underscores Joyce's interest in life cycles and their repetition, and also his concern about those "living dead" figures like Maria in "Clay" who move through life with little excitement or emotion except in reaction to everyday snags and delays. The monotony of Dublin life leads Dubliners to live in a suspended state between life and death, in which each person has a pulse but is incapable of profound, life-sustaining action.

Paralysis

In most of the stories in Dubliners, a character has a desire, faces obstacles to it, then ultimately relents and suddenly stops all action. These moments of paralysis show the characters' inability to change their lives and reverse the routines that hamper their wishes. Such immobility fixes the Dubliners in cycles of experience. The young boy in "Araby" halts in the middle of the dark bazaar, knowing that he will never escape the tedious delays of Dublin and attain love. Eveline freezes like an animal, fearing the possible new experience of life away from home. These moments evoke the theme of death in life as they show characters in a state of inaction and numbness. The opening story introduces this motif through the character of Father Flynn, whose literal paralysis traps him

in a state suspended between life and death. Throughout the collection, this stifling state appears as part of daily life in Dublin, which all Dubliners ultimately acknowledge and accept.

Epiphany

Characters in *Dubliners* experience both great and small revelations in their everyday lives, moments that Joyce himself referred to as “epiphanies,” a word with connotations of religious revelation. These epiphanies do not bring new experiences and the possibility of reform, as one might expect such moments to. Rather, these epiphanies allow characters to better understand their particular circumstances, usually rife with sadness and routine, which they then return to with resignation and frustration. Sometimes epiphanies occur only on the narrative level, serving as signposts to the reader that a story’s character has missed a moment of self-reflection. For example, in “Clay,” during the Halloween game when Maria touches the clay, which signifies an early death, she thinks nothing of it, overlooking a moment that could have revealed something about herself or the people around her. “Araby,” “Eveline,” “A Little Cloud,” “A Painful Case,” and “The Dead” all conclude with epiphanies that the characters fully register, yet these epiphanies are tinged with frustration, sadness, and regret. At the end of “The Dead,” Gabriel’s revelation clarifies the connection between the dead and the living, an epiphany that resonates throughout *Dubliners* as a whole. The epiphany motif highlights the repeated routine of hope and passive acceptance that marks each of these portraits, as well as the general human condition.

Betrayal

Deception, deceit, and treachery scar nearly every relationship in the stories in *Dubliners*, demonstrating the unease with which people attempt to connect with each other, both platonically and romantically. In “The Boarding House,” Mrs. Mooney traps Mr. Doran into marrying her daughter Polly, and Mr. Doran dreads the union but will meet his obligation to pursue it. In “Two Gallants,” Lenehan and Corley both suspect each other of cheating and scheming, though they join forces to swindle innocent housemaids out of their livelihoods. Concerns about betrayal frame the conversations in “Ivy Day in the Committee Room,” particularly as Parnell’s supporters see his demise as the result of pro-British treachery. Until his affair was exposed, Parnell had been a popular and influential politician, and many Irish believe the British were responsible for his downfall. All of the men in “Ivy Day” display wavering beliefs that suggest betrayal looms in Ireland’s political present. In “The Dead,” Gabriel feels betrayed by his wife’s emotional outpouring for a former lover. This feeling evokes not only the sense of displacement and humiliation that all of these Dubliners fear but also the tendency for people to categorize many acts as “betrayal” in order to shift blame from themselves onto others.

Religion

References to priests, religious belief, and spiritual experience appear throughout the stories in *Dubliners* and ultimately paint an unflattering portrait of religion. In the first story, “The Sisters,” Father Flynn cannot keep a strong grip on the chalice and goes mad in a confessional box. This story marks religion’s first appearance as a haunting but incompetent and dangerous component of Dublin life. The strange man of “An Encounter” wears the same clothing as Father Flynn, connecting his lascivious behavior, however remotely, to the Catholic Church. In “Grace,” Father Purdon shares his name with Dublin’s red-light district, one of many subtle ironies in that story. In “Grace,” Tom Kernan’s fall and absent redemption highlight the pretension and inefficacy of religion—religion is just another daily ritual of repetition that advances no one. In other stories, such as “Araby,” religion acts as a metaphor for dedication that dwindles. The presence of so many religious references also suggests that religion traps Dubliners into thinking about their lives after death.

Windows

Windows in *Dubliners* consistently evoke the anticipation of events or encounters that are about to happen. For example, the narrator in “The Sisters” looks into a window each night, waiting for signs of Father Flynn’s death, and the narrator in “Araby” watches from his parlor window for the appearance of Mangan’s sister. The suspense for these young boys centers in that space separating the interior life from the exterior life. Windows also mark the threshold between domestic space and the outside world, and through them the characters in *Dubliners* observe their own lives as well as the lives of others. Both Eveline and Gabriel turn to windows when they reflect on their own situations, both of which center on the relationship between the individual and the individual’s place in a larger context.

Dusk and Night-time

Joyce’s Dublin is perpetually dark. No streams of sunlight or cheery landscapes illuminate these stories. Instead, a spectrum of grey and black underscores their somber tone. Characters walk through Dublin at dusk, an in-between time that hovers between the activity of day and the stillness of night, and live their most profound moments in the darkness of late hours. These dark backdrops evoke the half-life or in-between state the characters in *Dubliners* occupy, both physically and emotionally, suggesting the intermingling of life and death that marks every story. In this state, life can exist and proceed, but the darkness renders *Dubliners*’ experiences dire and doomed.

Food

Nearly all of the characters in *Dubliners* eat or drink, and in most cases food serves as a reminder of both the threatening dullness of routine and the joys and difficulties of togetherness. In “A Painful Case,” Mr. Duffy’s solitary, duplicated meals are finally interrupted by the shocking newspaper article that reports Mrs. Sinico’s death. This interruption makes him realize that his habits isolate him from the love and happiness of “life’s feast.” The party meal in “The Dead” might evoke conviviality, but the rigid order of the rich table instead suggests military battle. In “Two Gallants,” Lenehan’s quiet meal of peas and ginger beer allows him to dwell on his self-absorbed life, so lacking in meaningful relationships and security, while the constant imbibing in “After the Race” fuels Jimmy’s attempts to convince himself he belongs with his upper-class companions. Food in *Dubliners* allows Joyce to portray his characters and their experiences through a substance that both sustains life yet also symbolizes its restraints.

Araby

The narrator, an unnamed boy, describes the North Dublin street on which his house is located. He thinks about the priest who died in the house before his family moved in and the games that he and his friends played in the street. He recalls how they would run through the back lanes of the houses and hide in the shadows when they reached the street again, hoping to avoid people in the neighbourhood, particularly the boy’s uncle or the sister of his friend Mangan. The sister often comes to the front of their house to call the brother, a moment that the narrator savours.

Every day begins for this narrator with such glimpses of Mangan’s sister. He places himself in the front room of his house so he can see her leave her house, and then he rushes out to walk behind her quietly until finally passing her. The narrator and Mangan’s sister talk little, but she is always in his thoughts. He thinks about her when he accompanies his aunt to do food shopping on Saturday evening in the busy marketplace and when he sits in the back room of his house alone. The narrator’s infatuation is so intense that he fears he will never gather the courage to speak with the girl and express his feelings.

One morning, Mangan's sister asks the narrator if he plans to go to Araby, a Dublin bazaar. She notes that she cannot attend, as she has already committed to attend a retreat with her school. Having recovered from the shock of the conversation, the narrator offers to bring her something from the bazaar. This brief meeting launches the narrator into a period of eager, restless waiting and fidgety tension in anticipation of the bazaar. He cannot focus in school. He finds the lessons tedious, and they distract him from thinking about Mangan's sister.

On the morning of the bazaar the narrator reminds his uncle that he plans to attend the event so that the uncle will return home early and provide train fare. Yet dinner passes and a guest visits, but the uncle does not return. The narrator impatiently endures the time passing, until at 9 P.M. the uncle finally returns, unbothered that he has forgotten about the narrator's plans. Reciting the epigram "All work and no play makes Jack a dull boy," the uncle gives the narrator the money and asks him if he knows the poem "The Arab's Farewell to his Steed." The narrator leaves just as his uncle begins to recite the lines, and, thanks to eternally slow trains, arrives at the bazaar just before 10 P.M., when it is starting to close down. He approaches one stall that is still open, but buys nothing, feeling unwanted by the woman watching over the goods. With no purchase for Mangan's sister, the narrator stands angrily in the deserted bazaar as the lights go out.

In "Araby," the allure of new love and distant places mingles with the familiarity of everyday drudgery, with frustrating consequences. Mangan's sister embodies this mingling, since she is part of the familiar surroundings of the narrator's street as well as the exotic promise of the bazaar. She is a "brown figure" who both reflects the brown façades of the buildings that line the street and evokes the skin colour of romanticized images of Arabia that flood the narrator's head. Like the bazaar that offers experiences that differ from everyday Dublin, Mangan's sister intoxicates the narrator with new feelings of joy and elation. His love for her, however, must compete with the dullness of schoolwork, his uncle's lateness, and the Dublin trains. Though he promises Mangan's sister that he will go to Araby and purchase a gift for her, these mundane realities undermine his plans and ultimately thwart his desires. The narrator arrives at the bazaar only to encounter flowered teacups and English accents, not the freedom of the enchanting East. As the bazaar closes down, he realizes that Mangan's sister will fail his expectations as well, and that his desire for her is actually only a vain wish for change.

The narrator's change of heart concludes the story on a moment of epiphany, but not a positive one. Instead of reaffirming his love or realizing that he does not need gifts to express his feelings for Mangan's sister, the narrator simply gives up. He seems to interpret his arrival at the bazaar as it fades into darkness as a sign that his relationship with Mangan's sister will also remain just a wishful idea and that his infatuation was as misguided as his fantasies about the bazaar. What might have been a story of happy, youthful love becomes a tragic story of defeat. Much like the disturbing, unfulfilling adventure in "An Encounter," the narrator's failure at the bazaar suggests that fulfillment and contentedness remain foreign to Dubliners, even in the most unusual events of the city like an annual bazaar.

The tedious events that delay the narrator's trip indicate that no room exists for love in the daily lives of Dubliners, and the absence of love renders the characters in the story almost anonymous. Though the narrator might imagine himself to be carrying thoughts of Mangan's sister through his day as a priest would carry a Eucharistic chalice to an altar, the minutes tick away through school, dinner, and his uncle's boring poetic recitation. Time does not adhere to the narrator's visions of his relationship. The story presents this frustration as universal: the narrator is nameless, the girl is always "Mangan's sister" as though she is any girl next door, and the story closes with the narrator imagining himself as a creature. In "Araby," Joyce suggests that all people experience frustrated desire for love and new experiences.

Ulysses

Stephen Dedalus spends the early morning hours of June 16, 1904, remaining aloof from his mocking friend, Buck Mulligan, and Buck's English acquaintance, Haines. As Stephen leaves for work, Buck orders him to leave the house key and meet them at the pub at 12:30. Stephen resents Buck.

Around 10:00 A.M., Stephen teaches a history lesson to his class at Garrett Deasy's boys' school. After class, Stephen meets with Deasy to receive his wages. The narrow-minded and prejudiced Deasy lectures Stephen on life. Stephen agrees to take Deasy's editorial letter about cattle disease to acquaintances at the newspaper.

Stephen spends the remainder of his morning walking alone on Sandymount Strand, thinking critically about his younger self and about perception. He composes a poem in his head and writes it down on a scrap torn from Deasy's letter.

At 8:00 A.M. the same morning, Leopold Bloom fixes breakfast and brings his wife her mail and breakfast in bed. One of her letters is from Molly's concert tour manager, Blazes Boylan (Bloom suspects he is also Molly's lover)—Boylan will visit at 4:00 this afternoon. Bloom returns downstairs, reads a letter from their daughter, Milly, then goes to the outhouse.

At 10:00 A.M., Bloom picks up an amorous letter from the post office—he is corresponding with a woman named Martha Clifford under the pseudonym Henry Flower. He reads the tepid letter, ducks briefly into a church, then orders Molly's lotion from the pharmacist. He runs into Bantam Lyons, who mistakenly gets the impression that Bloom is giving him a tip on the horse Throwaway in the afternoon's Gold Cup race.

Around 11:00 A.M., Bloom rides with Simon Dedalus (Stephen's father), Martin Cunningham, and Jack Power to the funeral of Paddy Dignam. The men treat Bloom as somewhat of an outsider. At the funeral, Bloom thinks about the deaths of his son and his father.

At noon, we find Bloom at the offices of the Freeman newspaper, negotiating an advertisement for Keyes, a liquor merchant. Several idle men, including editor Myles Crawford, are hanging around in the office, discussing political speeches. Bloom leaves to secure the ad. Stephen arrives at the newspaper with Deasy's letter. Stephen and the other men leave for the pub just as Bloom is returning. Bloom's ad negotiation is rejected by Crawford on his way out.

At 1:00 P.M., Bloom runs into Josie Breen, an old flame, and they discuss Mina Purefoy, who is in labour at the maternity hospital. Bloom stops in Burton's restaurant, but he decides to move on to Davy Byrne's for a light lunch. Bloom reminisces about an intimate afternoon with Molly on Howth. Bloom leaves and is walking toward the National Library when he spots Boylan on the street and ducks into the National Museum.

At 2:00 P.M., Stephen is informally presenting his "Hamlet theory" in the National Library to the poet A.E. and the librarians John Eglinton, Best, and Lyster. A.E. is dismissive of Stephen's theory and leaves. Buck enters and jokingly scolds Stephen for failing to meet him and Haines at the pub. On the way out, Buck and Stephen pass Bloom, who has come to obtain a copy of Keyes' ad.

At 4:00 P.M., Simon Dedalus, Ben Dollard, Lenehan, and Blazes Boylan converge at the Ormond Hotel bar. Bloom notices Boylan's car outside and decides to watch him. Boylan soon leaves for his appointment with Molly, and Bloom sits morosely in the Ormond restaurant—he is briefly

mollified by Dedalus's and Dollard's singing. Bloom writes back to Martha, then leaves to post the letter.

At 5:00 P.M., Bloom arrives at Barney Kiernan's pub to meet Martin Cunningham about the Dignam family finances, but Cunningham has not yet arrived. The citizen, a belligerent Irish nationalist, becomes increasingly drunk and begins attacking Bloom's Jewishness. Bloom stands up to the citizen, speaking in favour of peace and love over xenophobic violence. Bloom and the citizen have an altercation on the street before Cunningham's carriage carries Bloom away.

Bloom relaxes on Sandymount Strand around sunset, after his visit to Mrs. Dignam's house nearby. A young woman, Gerty MacDowell, notices Bloom watching her from across the beach. Gerty subtly reveals more and more of her legs while Bloom surreptitiously masturbates. Gerty leaves, and Bloom dozes.

At 10:00 P.M., Bloom wanders to the maternity hospital to check on Mina Purefoy. Also at the hospital are Stephen and several of his medical student friends, drinking and talking boisterously about subjects related to birth. Bloom agrees to join them, though he privately disapproves of their revelry in light of Mrs. Purefoy's struggles upstairs. Buck arrives, and the men proceed to Burke's pub. At closing time, Stephen convinces his friend Lynch to go to the brothel section of town and Bloom follows, feeling protective.

Bloom finally locates Stephen and Lynch at Bella Cohen's brothel. Stephen is drunk and imagines that he sees the ghost of his mother—full of rage, he shatters a lamp with his walking stick. Bloom runs after Stephen and finds him in an argument with a British soldier who knocks him out.

Bloom revives Stephen and takes him for coffee at a cabman's shelter to sober up. Bloom invites Stephen back to his house.

Well after midnight, Stephen and Bloom arrive back at Bloom's house. They drink cocoa and talk about their respective backgrounds. Bloom asks Stephen to stay the night. Stephen politely refuses. Bloom sees him out and comes back in to find evidence of Boylan's visit. Still, Bloom is at peace with the world and he climbs into bed, tells Molly of his day and requests breakfast in bed.

After Bloom falls asleep, Molly remains awake, surprised by Bloom's request for breakfast in bed. Her mind wanders to her childhood in Gibraltar, her afternoon of sex with Boylan, her singing

career, Stephen Dedalus. Her thoughts of Bloom vary wildly over the course of the monologue, but it ends with a reminiscence of their intimate moment at Howth and a positive affirmation.

As in "Araby" in this novel there are some main themes, motifs and symbols.

The Quest for Paternity

At its most basic level, *Ulysses* is a book about Stephen's search for a symbolic father and Bloom's search for a son. In this respect, the plot of *Ulysses* parallels Telemachus's search for Odysseus, and vice versa, in *The Odyssey*. Bloom's search for a son stems at least in part from his need to reinforce his identity and heritage through progeny. Stephen already has a biological father, Simon Dedalus, but considers him a father only in "flesh." Stephen feels that his own ability to mature and become a father himself (of art or children) is restricted by Simon's criticism and lack of understanding. Thus Stephen's search involves finding a symbolic father who will, in turn, allow Stephen himself to be a father. Both men, in truth, are searching for paternity as a way to reinforce their own identities.

Stephen is more conscious of his quest for paternity than Bloom, and he mentally recurs to several important motifs with which to understand paternity. Stephen's thinking about the Holy Trinity involves, on the one hand, Church doctrines that uphold the unity of the Father and the Son and, on the other hand, the writings of heretics that challenge this doctrine by arguing that God created the rest of the Trinity, concluding that each subsequent creation is inherently different. Stephen's second motif involves his Hamlet theory, which seeks to prove that Shakespeare represented himself through the ghost-father in Hamlet, but also—through his translation of his life into art—became the father of his own father, of his life, and “of all his race.” The Holy Trinity and Hamlet motifs reinforce our sense of Stephen's and Bloom's parallel quests for paternity. These quests seem to end in Bloom's kitchen, with Bloom recognizing “the future” in Stephen and Stephen recognizing “the past” in Bloom. Though united as father and son in this moment, the men will soon part ways, and their paternity quests will undoubtedly continue, for Ulysses demonstrates that the quest for paternity is a search for a lasting manifestation of self.

The Remorse of Conscience

The phrase *agenbite of inwit*, a religious term meaning “remorse of conscience,” comes to Stephen's mind again and again in *Ulysses*. Stephen associates the phrase with his guilt over his mother's death—he suspects that he may have killed her by refusing to kneel and pray at her sickbed when she asked. The theme of remorse runs through *Ulysses* to address the feelings associated with modern breaks with family and tradition. Bloom, too, has guilty feelings about his father because he no longer observes certain traditions his father observed, such as keeping kosher. Episode Fifteen, “Circe,” dramatizes this remorse as Bloom's “Sins of the Past” rise up and confront him one by one. *Ulysses* juxtaposes characters who experience remorse with characters who do not, such as Buck Mulligan, who shamelessly refers to Stephen's mother as “beastly dead,” and Simon Dedalus, who mourns his late wife but does not regret his treatment of her. Though remorse of conscience can have a repressive, paralyzing effect, as in Stephen's case, it is also vaguely positive. A self-conscious awareness of the past, even the sins of the past, helps constitute an individual as an ethical being in the present.

Compassion as Heroic

In nearly all senses, the notion of Leopold Bloom as an epic hero is laughable—his job, talents, family relations, public relations, and private actions all suggest his utter ordinariness. It is only Bloom's extraordinary capacity for sympathy and compassion that allows him an unironic heroism in the course of the novel. Bloom's fluid ability to empathize with such a wide variety of beings—cats, birds, dogs, dead men, vicious men, blind men, old ladies, a woman in labor, the poor, and so on—is the modern-day equivalent to Odysseus's capacity to adapt to a wide variety of challenges. Bloom's compassion often dictates the course of his day and the novel, as when he stops at the river Liffey to feed the gulls or at the hospital to check on Mrs. Purefoy. There is a network of symbols in *Ulysses* that present Bloom as Ireland's saviour, and his message is, at a basic level, to “love.” He is juxtaposed with Stephen, who would also be Ireland's saviour but is lacking in compassion. Bloom returns home, faces evidence of his cuckold status, and slays his competition—not with arrows, but with a refocused perspective that is available only through his fluid capacity for empathy.

Parallax, or the Need for Multiple Perspectives

Parallax is an astronomical term that Bloom encounters in his reading and that arises repeatedly through the course of the novel. It refers to the difference of position of one object when seen from two different vantage points. These differing viewpoints can be collated to better approximate the position of the object. As a novel, *Ulysses* uses a similar tactic. Three main characters—Stephen, Bloom, and Molly—and a subset of narrative techniques that affect our perception of events and

characters combine to demonstrate the fallibility of one single perspective. Our understanding of particular characters and events must be continually revised as we consider further perspectives. The most obvious example is Molly's past love life. Though we can construct a judgment of Molly as a loose woman from the testimonies of various characters in the novel—Bloom, Lenehan, Dixon, and so on—this judgment must be revised with the integration of Molly's own final testimony.

Lightness and Darkness

The traditional associations of light with good and dark with bad are upended in *Ulysses*, in which the two protagonists are dressed in mourning black, and the more menacing characters are associated with light and brightness. This reversal arises in part as a reaction to Mr. Deasy's anti-Semitic judgment that Jews have "sinned against the light." Deasy himself is associated with the brightness of coins, representing wealth without spirituality. "Blazes" Boylan, Bloom's nemesis, is associated with brightness through his name and his flashy behavior, again suggesting surface without substance. Bloom's and Stephen's dark colors suggest a variety of associations: Jewishness, anarchy, outsider/wanderer status. Furthermore, Throwaway, the "dark horse," wins the Gold Cup Horserace.

The Home Usurped

While Odysseus is away from Ithaca in *The Odyssey*, his household is usurped by would-be suitors of his wife, Penelope. This motif translates directly to *Ulysses* and provides a connection between Stephen and Bloom. Stephen pays the rent for the Martello tower, where he, Buck, and Haines are staying. Buck's demand of the house key is thus a usurpation of Stephen's household rights, and Stephen recognizes this and refuses to return to the tower. Stephen mentally dramatizes this usurpation as a replay of Claudius's usurpation of Gertrude and the throne in *Hamlet*. Meanwhile, Bloom's home has been usurped by Blazes Boylan, who comes and goes at will and has sex with Molly in Bloom's absence. Stephen's and Bloom's lack of house keys throughout *Ulysses* symbolizes these usurpations.

The East

The motif of the East appears mainly in Bloom's thoughts. For Bloom, the East is a place of exoticism, representing the promise of a paradisiacal existence. Bloom's hazy conception of this faraway land arises from a network of connections: the planter's companies (such as Agendeth Netaim), which suggest newly fertile and potentially profitable homes; Zionist movements for a homeland; Molly and her childhood in Gibraltar; narcotics; and erotics. For Bloom and the reader, the East becomes the imaginative space where hopes can be realized. The only place where Molly, Stephen, and Bloom all meet is in their parallel dreams of each other the night before, dreams that seem to be set in an Eastern locale.

Plumtree's Potted Meat

In Episode Five, Bloom reads an ad in his newspaper: "What is home without / Plumtree's Potted Meat? / Incomplete. / With it an abode of bliss." Bloom's conscious reaction is his belief that the ad is poorly placed—directly below the obituaries, suggesting an infelicitous relation between dead bodies and "potted meat." On a subconscious level, however, the figure of Plumtree's Potted Meat comes to stand for Bloom's anxieties about Boylan's usurpation of his wife and home. The image of meat inside a pot crudely suggests the sexual relation between Boylan and Molly. The wording of the ad further suggests, less concretely, Bloom's masculine anxieties—he worries that he is not the head of an "abode of bliss" but rather a servant in a home "incomplete." The connection between Plumtree's meat and Bloom's anxieties about Molly's unhappiness and infidelity is driven home when Bloom finds crumbs of the potted meat that Boylan and Molly shared earlier in his own bed.

The Gold Cup Horserace

The afternoon's Gold Cup Horserace and the bets placed on it provide much of the public drama in *Ulysses*, though it happens offstage. In Episode Five, Bantam Lyons mistakenly thinks that Bloom has tipped him off to the horse "Throwaway," the dark horse with a long-shot chance. "Throwaway" does end up winning the race, notably ousting "Sceptre," the horse with the phallic name, on which Lenehan and Boylan have bet. This underdog victory represents Bloom's eventual unshowy triumph over Boylan, to win the "Gold Cup" of Molly's heart.

Stephen's Latin Quarter Hat

Stephen deliberately conceives of his Latin Quarter hat as a symbol. The Latin Quarter is a student district in Paris, and Stephen hopes to suggest his exiled, anti-establishment status while back in Ireland. He also refers to the hat as his "Hamlet hat," tipping us off to the intentional brooding and artistic connotations of the head gear. Yet Stephen cannot always control his own hat as a symbol, especially in the eyes of others. Through the eyes of others, it comes to signify Stephen's mock priest-likeness and provinciality.

Bloom's Potato Talisman

In Episode Fifteen, Bloom's potato functions like Odysseus's use of "moly" in Circe's den—it serves to protect him from enchantment, enchantments to which Bloom succumbs when he briefly gives it over to Zoe Higgins. The potato, old and shriveled now, is an heirloom from Bloom's mother, Ellen. As an organic product that is both fruit and root but is now shriveled, it gestures toward Bloom's anxieties about fertility and his family line. Most important, however, is the potato's connection to Ireland—Bloom's potato talisman stands for his frequently overlooked maternal Irish heritage.

APPENDICE H: LO SVOLGIMENTO DELLA GRANDE GUERRA

La Prima Guerra Mondiale ebbe molteplici cause di natura economica, politica, ideologica, diplomatica e culturale. All'origine di questo immane conflitto stava la crescente tensione fra le potenze europee, accentuata dall'espansione imperialistica di fine Ottocento – inizio Novecento-, che saturò le aree di potenziale colonizzazione ed alimentò l'aggressività delle nazioni escluse, in particolar modo della Germania.

Il clima generale in cui maturò la crisi dell'estate 1914 fu quello di una crescente militarizzazione delle economie e delle coscienze. La "corsa agli armamenti" (che vide come protagoniste principali la Germania e la Gran Bretagna) non fu solo il sintomo più evidente della crisi che maturava, ma anche un impulso per le economie delle economie occidentali e per gli interessi dei grandi gruppi industriali. Al nazionalismo aggressivo si unì spesso un patriottismo esasperato che fece larga presa sulle masse; ad esso corrispose uno spostamento degli equilibri politici interni a favore delle forze politiche favorevoli al conflitto e delle gerarchie militari.

La miccia s'infiammò in uno dei settori più critici dell'equilibrio europeo, i Balcani. Qui, all'inizio del Novecento, l'indebolimento dell'impero ottomano aveva favorito l'emergere di rivendicazioni etnico-nazionaliste, alimentando le mire espansionistiche di Austria, Germania, Russia ed Italia. La Rivoluzione dei Giovani Turchi (1908), la guerra di Libia (1911) e le guerre balcaniche del 1912-1913 ruppero l'equilibrio indebolendo Turchia ed Austria ed imponendo la Serbia come maggiore potenza regionale. La competizione austro-serba per il controllo dell'area fu la causa prossima dello scoppio del conflitto.

L'assassinio di Francesco Ferdinando, erede al trono d'Austria, per mano di un nazionalista serbo (28 giugno 1914 a Sarajevo), convinse l'Austria di poter regolare i conti con la Serbia. La dichiarazione di guerra che ne seguì innescò un processo a catena che in una sola settimana, per effetto del meccanismo delle alleanze, portò quasi tutte le potenze europee, eccetto l'Italia, ad essere coinvolte nella guerra: da un lato gli Imperi Centrali (Austria e Germania), dall'altro l'Intesa (Francia, Gran Bretagna e Russia).

Gli stati maggiori degli eserciti ritenevano che il conflitto si sarebbe risolto in poche settimane, ma accadde il contrario: il mancato sfondamento tedesco sul fronte occidentale ed il blocco tedesco all'avanzata russa sul fronte orientale trasformarono l'illusione della "guerra lampo" nella realtà della "guerra di logoramento", combattuta lungo migliaia di chilometri di trincee.

Durante il primo anno del conflitto l'Italia rimase neutrale; solo nel maggio del 1915 decise di entrare in guerra, con l'obiettivo di ottenere le "terre irredente", cioè quelle soggette al dominio austriaco: il Trentino e l'Alto Adige, Trieste e la Venezia Giulia.

La decisione di entrare in guerra maturò in un clima reso infuocato dal confronto tra interventisti e neutralisti. Fra i primi vi era chi vedeva nella guerra l'unico mezzo per completare l'opera risorgimentale; chi sperava che la guerra rappresentasse la crisi del capitalismo e la premessa della rivoluzione; chi interpretava la guerra come occasione per affermare la potenza di una nazione rigenerata dalle "miserie" della democrazia parlamentare e del trasformismo.

I neutralisti (liberali giolittiani, cattolici e socialisti) nonostante rappresentassero la maggioranza del popolo italiano, vennero sopraffatti dall'aggressiva propaganda interventista, soprattutto quella di matrice nazionalista.

Decisiva fu tuttavia la posizione del re e del governo, schierati a favore dell'intervento militare, sulla stessa linea dei maggiori gruppi economici, soprattutto dell'industria pesante. Con il Patto di Londra (aprile 1915) il governo italiano, all'oscuro del parlamento, impegnò il Paese a combattere a fianco dell'Intesa in cambio di riconoscimenti territoriali.

La guerra, intanto, restava bloccata sui due fronti e mostrava il suo volto più tragico, esasperato dalle potenzialità distruttrici delle nuove tecnologie militari: cannoni, armi chimiche, aerei e sottomarini. I milioni di morti caduti nelle battaglie campali lanciate dagli Stati maggiori non modificavano granchè gli equilibri consolidati e disegnati dalle trincee. Il 1917 fu un anno molto critico: la "rotta" italiana a Caporetto e la crisi profonda della Russia, che si ritirò dal conflitto dopo una rivoluzione che aveva abbattuto lo zarismo, parvero favorire gli Imperi Centrali. Ma il dato di fondo era il diffondersi in tutti gli eserciti un clima di stanchezza e sfiducia, accompagnato da fenomeni di diserzione e sbandamento.

Gli Imperi centrali si rivelarono alla lunga incapaci di reggere un conflitto logorante e di lunga durata, soprattutto dopo l'ingresso in guerra della potenza militare ed industriale degli Stati Uniti e le vittorie conseguite dall'Intesa nel 1918 sul fronte occidentale e su quello italiano.

Nel novembre 1918 Austria e Germania dovettero rassegnarsi alla resa.

La guerra cambiò profondamente il volto del mondo. L'Europa perse la sua centralità economica e politica; il nuovo centro dell'economia mondiale furono gli Stati Uniti, che divennero i massimi produttori e creditori del mondo.

La guerra ebbe enormi conseguenze anche sul piano economico e sociale. Essa vide realizzarsi per la prima volta il terribile connubio tra apparato militare, industria e tecnologia (Guerra Tecnologica), ed il coinvolgimento dell'intera popolazione civile (Guerra Totale).

Ebbe, inoltre, grande slancio l'intervento dello stato nell'economia, per la necessità di sostenere lo sforzo produttivo necessario a reggere la sfida militare. Infine, il conflitto accelerò l'entrata delle masse sulla scena politica, dando nuovo ruolo ed importanza ai ceti subalterni (operai e contadini) e alle donne.

A guerra terminata, il maggior problema fu quello della riconversione dell'industria militare in industria di pace. Deficit pubblico, inflazione e svalutazione aggravarono ulteriormente la crisi economica e sociale, che si ripercosse sulle condizioni di vita dei ceti meno abbienti. Per le caratteristiche di violenza ideologica che avevano contraddistinto il primo grande conflitto di massa, queste tensioni si manifestarono in forma particolarmente acuta.

La lotta di classe infuriò nel primo dopoguerra in gran parte del continente. Ogni ceto serbò risentimento nei confronti degli altri, chi per timore di perder posizioni nella gerarchia sociale (ceto medio), chi rivendicando di aver pagato il maggior contributo di sangue (contadini). In generale, la guerra trascinò con sé la crisi dei valori democratici, esaltando le forze capaci di controllare "la piazza" ed il potere esecutivo a scapito della dialettica parlamentare.

Nella definizione dei nuovi equilibri mondiali giocò un ruolo determinante il presidente statunitense Wilson. Egli propose una carta di principi, in cui spiccavano l'autodeterminazione dei popoli e la necessità di dar vita ad un organismo sopranazionale (la Società delle nazioni), capace di dirimere le controversie tra gli Stati. La defezione delle massime potenze da tale organismo vanificò, però, la sua efficacia.

La carta d'Europa fu in realtà ridisegnata cercando di contemperare diverse esigenze: gli interessi dei vincitori, l'isolamento della Russia bolscevica, la soluzione dei problemi sorti dallo sfaldamento dei grandi imperi multinazionali. Ne uscirono decisioni destinate a pesare gravemente sui futuri equilibri politici del continente, come la pace punitiva imposta alla Germania con il trattato di Versailles e la creazione nell'Europa centro-orientale e balcanica di stati pluri-etnici.