

Riprendo in due parole i concetti essenziali della lezione di mercoledì 16 novembre. Il gabbiano Jonathan invita a **“non dar retta ai tuoi occhi, e non credere a quello che vedi. Gli occhi vedono solo ciò che è limitato. Guarda col tuo intelletto, e scopri quello che conosci già, allora imparerai come si vola”**. Anche Montale ci dice in uno splendido verso di fare attenzione alle **“trappole, agli scorni di chi crede che la realtà sia quella che si vede”**.

La piccola animazione contiene un innocente trucco per convincervi proprio di questo: che **solo con il pensiero con l'intelletto si vola, non con gli occhi**.

Vedete, il pallino rosso è una goccia d'acqua del mare. Voi, magari, **credete che l'acqua avanzi verso la riva, come ci suggerisce la cresta dell'onda**. Invece no, ricordate l'avvertimento di Jonathan e di Montale: **solo con il pensiero si vola, non con gli occhi**.

Dunque: **la goccia si muove, ma solo in cerchio, senza mai procedere verso la riva**. Gli occhi ci avevano ingannato. Guardate con l'intelletto e volerete. Ma non è facile, ci vuol tanta attenzione.

Ciò premesso riassunto

Per milioni di anni il **pensiero magico preistorico** ha volato basso sulla Terra. Era un pensiero ingegnoso, abile, ma ingenuo, timoroso, convinto che tutti i fenomeni naturali dipendessero da divinità misteriose e dispettose, e che l'uomo poteva solo cercare di tener buone.

Era un pensiero prudente, si affidava a sommi sacerdoti, sperava di ottenere benefici in vita e protezione dopo la morte.

Ma . Gradualmente questo pensiero ingabbiato nel simbolo e nel sacro compie un primo passaggio stupefacente: si rialza con temerarietà, sfida l'autorità dei sacerdoti dei due milioni di anni precedenti. Brandisce un unico strumento: la propria ragione, il **logos**. Gli antichi greci intuiscono che esistono leggi che spiegano il mondo, e le propongono, prima ingenuamente, poi con teorie sempre più sofisticate, arrivano a concepire con le sole forze della deduzione ad esempio un progetto geometrico che varrà per secoli. Un'impresa inimmaginabile, straordinaria.

Poi il volo libero. La mente con fatica arriva a comprendere di essere addirittura libera di sollevarsi dalla realtà del mondo, di immaginare sistemi logici diversi, senza alcuna costrizione. **Il pensiero libero produce modelli** che possono liberamente essere utilizzati oppure no, adesso o nei secoli futuri. Sono modelli solidi, logici, **“che principiano e finiscono nella mente”**. Sono **pensieri eterni**, più dei diamanti

SLIDE VA PENSIERO SCIENTIFICO. Come evolve la mente

Eppure ancora non basta. Il pensiero si innalza con un nuovo balzo. Il terzo stadio.

Osservate questa immagine: è **una rete neurale biologica**. Questi sono **neuroni**, ingranditi **un miliardo di volte**. È come se potessimo vedere il nostro sistema per pensare.

Dietro all'immagine c'è un **microscopio elettronico**, che utilizza gli elettroni, anziché la luce, e questo consente un ingrandimento enormemente maggiore.

Ma forse non sapete cosa fa funzionare un microscopio elettronico. La teoria che lo rende possibile è la **meccanica quantistica**, una teoria fisica astrusa e controintuitiva che descrive la luce **sia come onda che come particella**. Contemporaneamente onda e particella. Cosa inimmaginabile.

Eppure non serve immaginare: **funziona!** vedere con i vostri occhi questi **neuroni** ne prova la validità.

Oggi vi racconto quale volo del pensiero ha consentito questo risultato strabiliante: il volo della scienza.

Come, quando e perché è avvenuto questo salto dal Logos all'esperimento?

In verità già Archimede aveva una mentalità scientifica, ma non era adatta al clima culturale in cui era immerso. Aveva una straordinaria abilità nell'inventare congegni meccanici, ma ragionava sempre "alla greca", in modo deduttivo. Eppure non si può fare a meno di supporre che arrivi ai suoi risultati in modo sperimentale.

Vi racconto una storia: il problema della corona di Gerone, descritto nel suo libro sui corpi galleggianti. Come fare a scoprire se la corona è tutta d'oro o se qualcuno ha ingannato il re? Se fosse tutta d'oro nella vaschetta sarebbe in equilibrio con un lingotto d'oro dello stesso peso. Invece un esperimento mostra che non lo è, dunque la corona è una lega d'oro e di qualche altro metallo più leggero e meno prezioso! Gerone è stato ingannato. Pare ovvio che dietro alle deduzioni puramente razionali di Archimede ci siano state delle prove sperimentali.

Queste intuizioni scientifiche dei greci non hanno tempo di attecchire. Pochi secoli dopo il genio greco decade e, benché la matematica pura continui a fiorire come abbiamo visto, non si segnala quasi più alcun progresso, e il meglio che si era fatto è dimenticato.

La ricerca delle radici della modernità scientifica deve dunque attendere parecchio e porta dritti fino alla Firenze del Seicento. Dritti ovviamente a Galileo e ai suoi meravigliosi esperimenti sul moto dei corpi.

SLIDE SCIENZA GIOVANE ED ESPLOSIVA

Generalmente si conviene che la scienza inizi da poco più di quattrocento anni. Ma fino a due secoli fa rimase occupazione per l'uomo colto, riguardò molto il pensiero e poco la vita della gente comune.

Negli ultimi duecento anni, dice Russell, il pensiero scientifico "ha apportato dei cambiamenti più grandi di quelli accaduti dai giorni degli antichi egizi in poi". Due secoli di scienza "si sono dimostrati più esplosivi di seimila anni di cultura (già razionale) prescientifica".

Questo "nuovo potere" conclude Russell, sarà benefico all'uomo finché "lo userà con saggezza". Per esempio in medicina, per alleviare la sofferenza, come nel caso dell'invenzione dell'anestesia.

SLIDE SCIENZA TROPPO ESPLOSIVA?

"Se l'uomo userà il suo potere stoltamente, gli accadrà proprio il contrario" precisa Russell.

Sul beneficio o sul danno "della scienza" occorre fare subito una precisazione. Infatti è già sbagliato porre la questione in questi termini.

Benefici o danni dipenderanno non dalla scienza, certo non dalla "conoscenza" in quanto tale, ma dal suo utilizzo, dalle tecnologie che l'umanità sceglierà di sviluppare e dal modo in cui le userà.

È una riflessione che va tenuta ben presente. La tecnologia non può essere neutra, mai. Chi ha avuto per primo l'idea di lavorare un ciottolo per farne uno strumento ha dato l'avvio all'evoluzione della cultura umana, ma lo stesso coltello di pietra, la stessa falce che permette di scavare una radice o di rassodare il terreno può essere impiegato per uccidere un'altra persona. Il problema è etico.

Russell aggiunge infatti che, benefico o no: "Il sapere è bene, l'ignoranza è male".

SLIDE LA SCIENZA SI FA LARGO

Duecento anni di scienza sono il battito di un'ala a livello di ere geologiche. Eppure il pensiero scientifico ha sfrecciato in questo breve lasso di tempo con la velocità di un razzo. Ad esempio mettendo a disposizione dell'architettura mezzi informatici tali da progettare edifici come questo, l'Opera House di Oslo, leggero come l'aria di cristallo di quella città e solido come il ghiaccio che la circonda.

È innegabile che col metodo scientifico si ottengono risultati altrimenti irraggiungibili.

Lo sostiene l'archeologo Fabio Martini quando afferma che la scienza, riguardo alle spiegazioni dei fenomeni naturali, è stata in grado **"di togliere ogni validità alle interpretazioni filosofiche e alle spiegazioni sacre"**. Questa dichiarazione è così forte che può sembrare azzardata.

E forse è necessario spiegare cosa intende dire mettendo a confronto nella spiegazione dei fenomeni naturali l'approccio filosofico razionale, a priori, con l'approccio scientifico, a posteriori.

SLIDE I PIANETI SONO SETTE

Vi racconto un'altra storia, una vicenda astronomica poco nota, e cioè **la scoperta di Cerere**, dovuta ad un mediocre astronomo del regno delle due Sicilie, poco più di due secoli fa.

Voglio confrontare con voi l'atteggiamento tenuto a proposito dal grande filosofo Hegel e dall'altrettanto grande matematico Gauss. Teniamo conto che siamo ben duecento anni dopo Galilei.

È il primo gennaio 1801. **Giuseppe Piazzi, astronomo palermitano**, fa una sensazionale scoperta: individua nel cielo un **asteroide**, il primo ad essere scoperto. **Lo battezza Cerere**. Oggi l'asteroide è considerato per le sue dimensioni relativamente grandi un **nanopianeta**.

La scoperta non è dovuta al caso. Piazzi, pur mediocre come astronomo, aveva fatto realizzare per l'Osservatorio di Palermo un grande telescopio dando ottima prova di lungimiranza scientifica: il **"grande cerchio di Palermo"**, **il primo grande telescopio circolare mai costruito**. Famoso in tutta Europa.

Piazzi osserva dunque Cerere, **ma dopo 41 giorni ne perde le tracce**. Cerere è svanito nell'ombra del sole. Egli ha osservato solo pochi gradi dell'orbita, solo 9°, una porzione insufficiente secondo tutti gli astronomi per prevederne la posizione e ritrovarlo.

SLIDE CERERE E HEGEL

Ed ecco il commento di **Hegel, filosofo tedesco**, all'annuncio della scoperta. **Egli si pronuncia in modo perentorio contro la presunzione degli scienziati di cercare un ottavo pianeta. Bastano poche nozioni di filosofia, osserva Hegel, per dedurre immediatamente che i pianeti devono necessariamente essere sette.**

Questo nell'immagine è Cerere in tutto il suo splendore. Esiste, indifferente all'opinione di Hegel, e la navicella spaziale Dawn della Nasa lo fotografa mostrando il suo lato nord illuminato dal sole.

SLIDE I PIANETI NON SONO 7, MA FORSE 200

Diversissimo è l'approccio di Gauss, matematico tedesco. Siamo alla fine di quell'anno, è il 7 dicembre 1801. Gauss **rimane affascinato dal problema**. Sa che gli astronomi ritengono impossibile ritrovare il nanopianeta sulla base dei famosi 41 dati. Ma da matematico pensa che sia un'opinione sbagliata, a suo parere le osservazioni sono sufficienti.

Come fa Gauss? Inventa per l'occasione un metodo che permette di calcolare la linea che passa più vicino ai 41 punti in cui Piazzi ha osservato Cerere. Questo metodo lo si studia ancora oggi a scuola col nome di **METODO DEI MINIMI QUADRATI**. In due parole Gauss cerca matematicamente qual è la curva che passa più vicina ai punti, cioè rende minime le distanze tra i punti e la curva. Gauss fa il calcolo, ci sono molte variabili, ma egli è un calcolatore più che abile, in grado di risolvere il problema in poche ore. E trova la soluzione: un'orbita ellittica lungo la quale cercare il pianettino. Sembra dire: **cercate e lo troverete qui...**

Gli astronomi puntano i telescopi e ritrovano Cerere in un altro punto di quell'orbita, esattamente dove Gauss ha predetto. Fu un successo clamoroso, il nome di Gauss diventa famoso in tutta Europa. Anzi è costretto a ripetere il calcolo quando gli astronomi scoprono **Pallade** ed egli calcola l'orbita del nuovo asteroide in poche ore.

Nel sistema solare sono stati stimati circa 200 pianeti nani. **L'Unione Astronomica Internazionale** al momento ne classifica solo cinque. Oltre **Cerere**, uno dei cinque è **Plutone**, retrocesso da pianeta a nanopianeta.

SLIDE MORALE DELLA FAVOLA

Morale della favola. La scienza moderna è alla prova dei fatti "migliore" della fisica aristotelica: fa **previsioni accurate** che permettono di stabilire che **Gauss ha ragione e Hegel ha torto**.

Le interpretazioni filosofiche e le spiegazioni sacre non reggono al confronto con "la Nuova Scienza": non servono per spiegare il mondo

In verità **Aristotele fu un eccezionale indagatore di fenomeni naturali**. Ma quando le università dell'Europa medioevale e rinascimentale iniziarono a studiarlo, **purtroppo le sue opere diventarono fonte di sapere indiscutibile, non un programma per nuove riflessioni**. Si ritenne che tutto ciò che c'era da sapere si trovasse in Aristotele. L'Aristotele delle università non era il vero Aristotele. Questa idea fu una delle grandi sventure dell'umanità.

Ma per fortuna il dubbio comincia a lavorare, fino ad arrivare a contrastare l'autorità di Aristotele, **come i filosofi greci avevano a loro volta contrastato l'autorità dei sacerdoti**: eppure il processo sarà lungo: Hegel ancora nell'Ottocento fa appello all'autorità, **l'idea non è ancora sconfitta**.

SLIDE IL PENSIERO INGABBIATO

L'idea non è sconfitta e rende la strada piuttosto contorta.

Pensiamo alla grande eredità che ci ha lasciato il Logos dei Greci: chi veniva dopo i Maestri **riconosceva il valore profondo della conoscenza precedente**, ci si appoggiava, ma non esitava a dire che era possibile fare di meglio. Da Platone in poi questa idea si articola bene: **la verità è velata, ma è accessibile**, in maniera graduale, per affinamenti successivi, attraverso osservazioni, discussioni e ragione.

Messo così sembrerebbe un percorso liscio e piano verso un pensiero sempre più libero.

E invece, abbiamo appena visto che i seguaci di Aristotele per millenni hanno imposto il principio di autorità rallentando lo sviluppo della conoscenza.

La storia probabilmente ha avuto la sua parte di responsabilità: l'impero romano, pochi secoli dopo, riporta interamente il potere nelle mani di un singolo, **l'imperatore**, e il cristianesimo riporta il sapere interamente nelle mani del **divino**.

L'unione di impero e cristianità rifonda la teocrazia e può essere una delle cause che arresta il processo. Il principio di autorità torna centrale e incontestabile.

SLIDE MILLE DEMOSTENI E MILLE ARISTOTELI

Ma l'importante è che il processo sia iniziato: la via della critica è aperta e non si arresterà, ma ci metterà secoli ad evolvere. Riprenderà lentamente in Italia, nel Rinascimento, a Firenze, **mille e cinquecento anni dopo**.

Nel "*Dialogo sopra i massimi sistemi del mondo*" del 1632 Galileo fa dire a Salviati la più incisiva critica al principio di autorità:

"Mille Demosteni e mille Aristoteli non valgono a trasformare una verità in menzogna o viceversa".

La scienza moderna è ufficialmente iniziata.

SLIDE DALLE SCIENZE ALLA SCIENZA

“**Scienza moderna**”. Attenzione al linguaggio: quando parliamo di scienza non intendiamo in tutte le epoche la stessa cosa!

Nell'antica Grecia «scienza» era “**episteme**”, che indica “conoscenza certa e incontrovertibile”, che al tempo significava “**ciò che si pensa essere vero per deduzione**”, esattamente il punto di vista aristotelico. Non quello della scienza in senso moderno.

Per secoli sono “**scienze**”: la teologia, la filosofia, la grammatica, la retorica, la logica, l'astronomia, la medicina, la fisica, l'astrologia, la matematica. In questo stretto ordine gerarchico.

Dunque in questa visione la teologia e la filosofia stabiliscono i fondamenti delle altre scienze.

I teologi, in cima alla scala, si sentivano autorizzati a ordinare ai filosofi di dimostrare che era razionale credere in un'anima immortale. I filosofi si sentivano autorizzati a ordinare ai matematici di dimostrare che i moti nei cieli sono circolari perché il movimento circolare è il solo compatibile con l'opera di Dio Creatore.

Wootton afferma che “**Una descrizione essenziale della rivoluzione scientifica consiste nell'affermare che questa rappresentò una ribellione riuscita dei matematici all'autorità dei filosofi e di entrambi all'autorità dei teologi**”.

SLIDE LA “VERA SCIENZA”

La ribellione inizia dunque in Italia, nel Rinascimento.

Già nel **1519** Leonardo ragionava su cosa fosse “vera scienza”, per distinguerla dalla scienza intesa in senso antico.

Attenzione alle sue parole che testimoniano la ribellione al pensiero razionale: “**Nessuna umana investigazione si può dimandare vera scienza, se essa non passa per matematiche dimostrazioni; e se tu dirai che le scienze, che principiano e finiscono nella mente, abbiano verità, questo non si concede, ma si nega per molte ragioni; e prima che in tali discorsi mentali non accade esperienza, senza la quale nulla dà di sé certezza**”

Dicendo questo Leonardo di fatto rifiuta, prima di Galileo, l'intero sistema di conoscenza aristotelico (“*le scienze che principiano e finiscono nella mente*”) e circoscrive le vere scienze a quelle forme di sapere basate sull'esperienza oppure sulla matematica.

DALL'ETÀ DELL'ORO AL MITO DEL PROGRESSO

Ma vi devo dire un'altra cosa importante: in quei millenni soggetti all'autorità succede una cosa ancora più subdola al pensiero.

Un pensiero prigioniero non concepisce l'idea di progresso. Il pensiero legato crede **che non ci sia nulla da “scoprire” che non sia già stato scoperto dagli antichi.** Mancava la percezione che il sapere fosse incompleto. Per oltre un millennio.

Questa incapacità di immaginare il progresso ha fatto nascere addirittura l'idea che la storia umana sia in verità un allontanamento da una mitica “**età dell'oro**”.

I romani rimanevano sbalorditi dai racconti su ciò che Archimede era riuscito a fare. Ritenevano che i greci fossero più “progrediti” di loro.

E a loro volta gli architetti italiani del Rinascimento esploravano gli edifici in rovina dell'Antica Roma convinti di studiare una civiltà molto più avanzata della loro.

Shakespeare non coglieva nemmeno il divario tra i romani e i suoi contemporanei del Seicento. Per tanti versi i romani erano davvero più progrediti degli elisabettiani: avevano strade migliori, bagni, riscaldamento. Insomma egli percepiva bene la varietà degli uomini, non era in grado di percepire la varietà delle epoche. Conosceva bene la storia, ma **non** possedeva il concetto di progresso.

Verso la metà del Settecento qualcosa cambia. Il senso del tempo di Shakespeare viene rapidamente sostituito dal nostro. **Come mai proprio allora?** Perché ormai il cambiamento è sotto gli occhi di tutti: il **progresso è ormai diventato inarrestabile.**

ERUDITO DEL SEICENTO

In un SOLO secolo la trasformazione del pensiero è compiuta.

Riassumiamo la situazione. Nel Seicento ogni studioso condivide in Europa le stesse credenze basate sul principio di autorità.

Crede nella stregoneria, nell'astrologia, nei lupi mannari. Crede che Circe abbia davvero trasformato uomini in porci, crede che i sogni predicano il futuro, crede ai miracoli. Crede che i topi nascano dalla paglia, che il corpo di un assassinato sanguini in presenza dell'assassino. Crede che la natura aborra il vuoto, crede a Tolomeo e pensa che la Terra sia immobile. Crede che il vil metallo possa essere trasformato in oro. Possiede circa venti libri.

CREDENZE: ORO ALCHEMICO

Il pensiero degli alchimisti è perfetto per illustrare il sapere basato sulla "credenza". L'erudito del Seicento crede nell'alchimia, crede l'arte di trasmutare i metalli vili (piombo, stagno, mercurio, rame, ferro) in metalli nobili (oro e argento).

Fin dal II secolo a.C. gli alchimisti si sono trasmessi il loro sapere in Egitto e in Grecia, in tutta Europa, perfino in Cina. Le opere alchemiche sono scritte in cui il sapere è segreto, come nei tempi antichi, **non è trasparente, non è controllabile, non è riproducibile.** L'alchimia non ha dunque alcuna base scientifica. Le osservazioni compiute per millenni non hanno mai consentito progressi, nessun alchimista ha mai trasformato il vil metallo in oro, e grazie alla scienza moderna ora sappiamo che è impossibile.

Ma è giusto ammettere che le secolari osservazioni degli alchimisti non sono state inutili: hanno permesso, **su altre basi e con l'utilizzo del metodo sperimentale, lo sviluppo della chimica moderna.**

ERUDITO DEL SETTECENTO

In pochi anni cambia tutto. Nel Settecento ogni studioso condivide in Europa le stesse "conoscenze".

Un erudito del Settecento possiede un barometro a mercurio e una pendola. Ha visto funzionare un telescopio, il microscopio e la macchina a vapore. Non crede nelle streghe, nei lupi mannari, nell'astrologia. Pensa che l'Odissea sia un'opera di fantasia. È sicuro che l'unicorno sia un animale mitologico. Non crede che gli esseri si generino spontaneamente, nemmeno una mosca, sa che il cuore è una pompa. Crede che la Terra orbiti attorno al sole, non crede che le comete abbiano influenza sulle nostre vite. Possiede da duecento a duemila libri.

CONOSCENZE: ENERGIA DAL VAPORE

La macchina di Newcomen è un esempio di applicazione di pensiero basato invece su fatti.

Si tratta di una pompa a pistone azionata da un motore a vapore, e sviluppata appunto da Thomas Newcomen nel **1705 è la prima applicazione del vapore ad un processo industriale.**

La macchina trasforma energia chimica (data dalla combustione) in energia meccanica (lavoro di sollevamento).

SLIDE VOLA PENSIERO!

In questo periodo di circa cent'anni il mondo intellettuale dell'élite colta in Europa cambiò più rapidamente che in ogni altra epoca.

La magia fu rimpiazzata dalla scienza. L'autorità dai fatti.

Come è stato possibile questo enorme cambiamento in un tempo così breve?

Perché in questo secolo? Perché in Europa e non altrove?

SLIDE CHI PREPARA IL TERRENO

Fino al Medioevo il successo della scienza sperimentale è molto limitato. Ma non assente.

Teodorico di Freiberg (XIII secolo) fornisce una prima descrizione soddisfacente dell'arcobaleno. Questo è forse il **più notevole lavoro sperimentale dell'intero Medioevo cristiano**.

Aristotele aveva detto che gli arcobaleni sono il risultato della riflessione, Teodorico dimostra che entra nel fenomeno anche la rifrazione. Aristotele aveva identificato tre soli colori, Teodorico insiste nell'aggiungere un quarto colore, il giallo.

Nessuno naturalmente si interessa al trattatello del povero Teodorico e il suo testo **sparisce dimenticato fino al XIX secolo**.

Il terreno non era ancora pronto.

SLIDE LE SENSATE ESPERIENZE

Anche a livello di scuole e università il terreno non è pronto.

Qual era la fisica che il giovane Galileo e il signor Keplero imparano nelle università? Consideriamo il problema della caduta dei corpi. Fino al Seicento si insegna che per conoscere il movimento degli oggetti, secondo la tradizione risalente ad Aristotele, ci si deve basare sulle **sensate esperienze**.

Aristotele diceva che secondo una sensata esperienza nella caduta di un oggetto la velocità è costante. Cioè l'oggetto non accelera. Lì vedete una simulazione, osservate bene la caduta della pallina. Che ne dite?

Sapete che oggi a scuola impariamo che non è vero. La velocità non è costante. Eppure l'errore non è grossolano, al contrario piuttosto sottile: **bisogna tener conto che il sistema formato dall'occhio e dal**

cervello non è in grado di percepire l'accelerazione di un corpo che cade al suolo: il moto è troppo rapido, l'osservazione trae in inganno. Ricordate, è facile fidarsi di quello che si vede.

E infatti nessuno controlla e **la legge aristotelica** del moto continua a venir insegnata per più di un millennio: **"La velocità di un corpo che cade lungo la verticale è costante"**.

SLIDE LA "PROVA"

Ma nel Seicento, a Firenze, Galileo fa quello che in un millennio nessuno ha fatto: **controlla l'affermazione**. Ci vuole coraggio perché pensa e agisce in spregio all'autorità degli antichi.

Nessuno, non Aristotele, non i fisici antichi, nessuno ha mai davvero calcolato la velocità di caduta di un oggetto. Perché farlo non è banale, non ci si riesce ad occhio nudo.

Galileo lo fa. Ci lavora mesi e mesi ininterrottamente, progetta con cura un **esperimento**. Il congegno che costruisce mostra con evidenza che dubita del maestro. Ha una ipotesi teorica ben ficcata in mente diversa dall'ipotesi di Aristotele.

Fa costruire un **piano inclinato di dieci metri** in modo da "rallentare" il più possibile la caduta del corpo. Divide il piano inclinato in parti uguali, dopo una di queste parti fissa una campanella e lo stesso fa alla fine

della quarta parte e della nona parte, della sedicesima e così via. Poi fa cadere lungo tale binario una sferetta. Questa, toccando le campanelle, le fa suonare.

Il risultato è sconcertante. **Le campanelle suonano a intervalli uguali**, per l'orecchio è facilissimo accorgersene. Galileo **deduce che la sferetta percorre in tempi uguali spazi sempre maggiori**. E deduce che la caduta della sferetta segue la legge quadratica, quella che lui stesso ha ipotizzato nel posizionare le campanelle (a distanza 1, 4, 9, 16, ...). Conclusione dell'esperimento: **la velocità della sferetta aumenta durante la caduta**. C'è un'accelerazione.

Il fattore costante si capirà poi è l'accelerazione di gravità terrestre. Se un corpo cadesse sulla luna, la velocità aumenterebbe nel tempo secondo un fattore costante minore, l'accelerazione di gravità lunare, i corpi sulla Luna cadono più lentamente, ma accelerano.

In conclusione, nel **1604**, Galileo enuncia la sua nuova legge: **"Un corpo cadendo accelera nel tempo in modo costante"** Galileo prova e deduce. E chi vuole riproduce. Chiunque può verificare la sua legge: una copia dell'apparato sperimentale di Galileo è conservata al Museo di storia della scienza a Firenze.

SLIDE EXPERIMENTUM CRUCIS

Vi racconto un'ultima storia: un esperimento più **importante perché addirittura pubblico**.

Parliamo del problema dell'esistenza del vuoto. **Perché il mercurio nel barometro scende fino ad un certo punto e poi si arresta?** Aristotele afferma: perché esiste l'horror vacui, **l'orrore della natura verso il vuoto**.

Pascal, come Galileo, dubita del maestro. E fa la stessa cosa di Galileo: progetta **un esperimento** in modo meticoloso e ancor più spettacolare.

Prepara un tubo graduato e a fondo cieco, lungo almeno 80 centimetri, lo riempie di mercurio e lo rivoltava con il lato aperto verso il basso in una vaschetta contenente altro mercurio. **Il mercurio si abbassa nel tubo fino ad un certo preciso livello**. Perché?

Pascal fa un'**ipotesi**: il livello del mercurio nel tubo si abbassa fino ad equilibrare la pressione dell'aria sulla vaschetta. Se questa ipotesi fosse vera, pensa Pascal, salendo ad altitudini maggiori l'aria avrebbe una altezza minore, e peso minore, sulla vaschetta. Se l'aria pesasse di meno sulla vaschetta allora il mercurio potrebbe scendere di più nel tubo. Elementare Watson.

Il ragionamento è sempre deduttivo, aristotelico. Dov'è la novità allora? La novità è enorme: la conclusione della deduzione viene messa alla prova.

L'esperimento viene eseguito durante la scalata del **Puy de Dôme, nel Massiccio Centrale, il 19 settembre 1648**. Nel cortile di un Monastero, alla base della scalata, dopo aver inserito il tubo pieno di mercurio nella vaschetta si nota che **il mercurio scende nel tubo fino ad una altezza di 65,0 cm. Si scala la montagna e in cima l'altezza del mercurio scende a 57,4 cm, un livello più basso di 7,6 cm rispetto al cortile**.

L'esperimento conferma l'intuizione (è il peso dell'aria la variabile che conta, non la materia: acqua, vino o mercurio) e fornisce la verifica sperimentale dell'ipotesi.

La delegazione del Puy de Dome rifece l'esperimento sul campanile del Duomo di Clermont. La differenza tra livello del suolo e cima del campanile era piccola, circa mezzo centimetro, ma misurabile. Pascal scrive soddisfatto: **"l'esperimento è il vero maestro da seguire"**.

Questo risultato spettacolare, **dopo secoli di discussioni sterili sull'horror vacui**, riempie i contemporanei di fiducia nella scienza. Nel **1662** Boyle dice che **questo esperimento è stato un vero "experimentum crucis", l'esperimento cruciale**.

SLIDE IL METODO SCIENTIFICO

Per Galileo e per Pascal gli ingredienti del metodo scientifico sono:

intuizione per formulare le ipotesi e scegliere le variabili importanti,
deduzione per prevedere i risultati,
esperimento progettato accuratamente e realizzato con precisione,
ripetizione delle misure,
diffusione della procedura e **trasparenza dei risultati**,
ripetibilità della prova.

I filosofi aristotelici guardavano indietro dando per scontato che Aristotele avesse saputo tutto ciò che bisognava sapere, i nuovi scienziati guardano avanti sapendo che si faranno previsioni sempre più soddisfacenti. Uno dei motivi per cui la nuova scienza progredisce, al contrario della vecchia filosofia, è la sua consapevolezza di essere imperfetta e incompleta.

SLIDE SAPERE AFFIDABILE, NON CERTO

La prova sperimentale sulla caduta dei corpi ha falsificato la legge aristotelica. La legge di caduta dei corpi di Galileo e la spiegazione di Pascal sono "migliori" delle leggi antiche. Sono modelli più accurati. Ne esistono di migliori? Certo.

Questa nuova conoscenza (che permette a tutti noi di fare previsioni affidabili sulla caduta dei corpi) potrebbe **essere falsificata**.

Ce lo hanno insegnano con molta enfasi i filosofi della scienza. Potrebbe esserci un "**cigno nero**", un esperimento che falsifica questo risultato. Questa storia del cigno nero ha talmente colpito l'immaginazione che sembra suggerire che i corpi ad un certo punto potrebbero mettersi a salire verso il cielo a testa in giù. Ovviamente non è così! Tranquilli: le mele ci cadranno sempre in testa con la loro regolare accelerazione di gravità. **Il concetto di falsificabilità non va preso con leggerezza.**

Quello che può succedere, e che succede in fisica, è che si **potrebbe scoprire che la legge del moto è solo approssimata**, che **ne esiste una più precisa**. E così infatti è: basta tenere conto dell'attrito, dell'interazione tra i corpi, del caos... Fenomeni ininfluenti a certi livelli, fondamentali in altri.

Il pensiero scientifico non permette di ottenere tramite "l'esperienza" una conoscenza certa, come baldanzosamente credevano i filosofi positivisti (che ci hanno rovinato la piazza facendo credere a tutti che gli scienziati si ritenevano onnipotenti).

La scienza permette di costruire un sapere affidabile. Rovelli dice: "**Le risposte della scienza sono credibili perché sono le migliori di cui disponiamo oggi, ad un dato momento della storia del nostro sapere.**

E proprio perché sappiamo non considerarle definitive che continuano a migliorare"

SLIDE IL POTERE DEI FATTI

Con il concetto di esperimento il grande passo è fatto.

Ma ancora nel Seicento si credeva che non fosse possibile frantumare un diamante a meno che non fosse stato prima ammorbidito con sangue di capra. (Papyrus Graecus Holmiensis, copia del IVa.C.). Per provarne la sensatezza sarebbe bastato affidarsi all'esperienza diretta, **sembra semplice buon senso**, i gioiellieri sapevano che era una falsa credenza.

Perché solo dopo il Seicento si è avuto un tale successo dei fatti? La possibilità di stabilire dei fatti viene principalmente dall'esistenza di sempre maggiori e più potenti **strumenti di misura condivisi, unità di misura di lunghezza, di peso**.

Prima della rivoluzione scientifica **i fatti erano rari, difficilmente controllabili, inconfondibili e dunque inaffidabili**

La trasformazione straordinaria del pensiero fu possibile perché fu possibile accedere all'esperienza diretta, ai fatti, e fu possibile di conseguenza non affidarsi più all'unica fonte di sapere disponibile, quella indiretta, le credenze.

Hume a questo punto può dire: **“Non c'è argomentazione (ciò che viene detto) che tenga dinanzi ad un dato di fatto (ciò che viene provato)”**

Dopo questo cambiamento epocale, pensate, la Royal Society assunse come motto:

“Nullius in verba”, “Non dar fiducia alle parole di nessuno”.

Un motto che invita a non credere a quello che viene *solo* detto, senza prove. **Prove che sono a carico di chi afferma, non di chi dubita.**

SLIDE VA PENSIERO SCETTICO

Questo è il cuore del cambiamento avvenuto con la rivoluzione scientifica.

Il pensiero è cambiato: la nuova scienza si basa sulla sfiducia, non sulla fiducia. È nato un nuovo spirito scettico.

Scettico soprattutto nei confronti di coloro che credono che la conoscenza sia democratica, che esista la possibilità di **“pensarla diversamente”**, ma **senza portare prove**. Questo modo di pensare non porta nuova conoscenza, ma produce solo **ignoranza e confusione**. E può portare gravissimi danni.

Non dobbiamo credere ad affermazioni di ciarlatani, anche in buona fede, che non siano state sperimentate, vagliate e i cui risultati siano stati condivisi con la **comunità internazionale degli esperti nel campo (peer review)**.

Ma insomma non possiamo credere più a niente? Sarebbe prudente, infatti. Sarebbe meglio attenersi ad una vecchia battuta che gira nel mondo scientifico:

“In God we trust, all others must bring data”, ovvero “noi crediamo in Dio, tutti gli altri portino i dati”.

SLIDE #CHIEDILE PROVE

Se vi imbattete in internet o sui social network, in affermazioni di questo genere: «Le tracce degli aerei nel cielo sono scie chimiche per il controllo del clima» e se poi vi impegnate in una discussione, vi sarete accorti che **molte affermazioni hanno una parvenza di scientificità, vengono presentate come dati di fatto, spesso però solo per sentito dire o per luoghi comuni, non supportati da prove.**

Ma un'affermazione scientifica senza prove non è scientifica!

Nel Blog della Fondazione Veronesi viene proposta una iniziativa **“Chiedi le prove”** che prende spunto dall'esperienza di **“Ask for evidence”** per un corretto uso dell'informazione scientifica nei mezzi di comunicazione.

Si può partecipare aiutati da un manuale che è disponibile nel sito.

SLIDE LA VERITÀ È UNA CACCIA SENZA PREDE

Abbiamo fatto un bel passo avanti. Dunque la scienza non è verità, il sapere progredisce, ma può essere falsificato e rivisto. Gli scienziati non sono alla ricerca della verità, ma di una conoscenza sempre più affidabile. Il pensiero scientifico è flessibile e riconosce la sua ignoranza...

La domanda che fa chi non si fida della scienza di solito è proprio questa: **come può funzionare qualcosa che non dà garanzie, di cui non siamo certi al 100%?** La risposta è perfino banale ed era già ben chiara prima del Settecento.

Nel suo "Saggio" del 1690 Locke scrive che la scienza è: **"una specie di caccia nella quale lo stesso inseguimento della preda costituisce gran parte del piacere. Ogni passo che la mente muove sulla strada della conoscenza è una scoperta, non solamente nuova, ma anche la più perfetta, almeno per il presente"**.

Se sentite personaggi, anche molto sapienti e saggi, ragionare imperterriti sul problema "se la scienza produca oppure no conoscenza **"vera"**" potreste far rilevare che non notano un dettaglio fondamentale. E cioè che tutto quello che serve oggi alla scienza è **una buona teoria**.

L'idea di teoria valida "almeno per il presente" segna la rottura tra la scienza e la filosofia "della mente" che ha l'ambizione di porsi il problema della verità. L'"Almeno per il presente" di Locke contiene l'idea di limite del pensiero da cui nasce il successo del metodo della scienza.

SLIDE IMAGINE

Manca un ultimo tassello per comprendere appieno come funziona il pensiero scientifico. Ma è un tassello fondamentale

Davvero, chiede Rovelli, il metodo scientifico si limita solo a fornirci buone predizioni, le migliori "almeno per il presente"? È tutto qui? Non convince.

La molla che muove il pensiero è, e sempre sarà, la curiosità, il **desiderio di sapere**, non il desiderio di produrre nuove tecnologie.

Sono le grandi domande a spingere il pensiero: il mondo là fuori com'è per davvero? È come lo descrive Newton? O come lo descrive Einstein? O né l'uno né l'altro?

La scienza non è riducibile alle sue predizioni: questi sono strumenti, fondamentali per il progresso della civiltà, ma strumenti. La sostanza è su un altro livello, più alto. La **confusione fra questi due piani**, pensiero scientifico e produzione di predizioni, apre il fianco alla critica della scienza come dominio della tecnica.

Che cos'è allora il pensiero scientifico?

Diciamolo in modo ambizioso: l'obiettivo principale è **comprendere come funziona il mondo**. Noi uomini pensiamo in grande, da sempre. E comprendere il reale, a livello scientifico, significa **costruire un'immagine del mondo**.

Per poi cambiarla. Per mettere in discussione qualcosa che credevamo di sapere, ma che non resiste alla prova dei fatti. Ad ogni nuova acquisizione il mondo si ridisegna e cambia sotto i nostri occhi. Lo conosciamo diversamente e meglio.

SLIDE DESCRIVERE LA LUCE

Vi faccio un esempio luminoso per capire cosa intendo per cambiamento di visione.

Vi racconto una storia straordinaria: quella della luce e di **Faraday, chimico e fisico inglese**

Sappiamo come è fatta la luce, è una piccolissima "finestra" di quello che i fisici chiamano onde elettromagnetiche, sappiamo quanto è veloce, circa 300.000 km/sec, sappiamo che la sua lunghezza d'onda determina il suo colore, quello che la rende a noi visibile, noi vediamo la luce dal rosso scuro al violetto.

Questa è la sua "descrizione fisica".

SLIDE CAMBIARE LA VISIONE

Ma ecco che ad un certo punto abbiamo dovuto cambiare idea, piuttosto drasticamente, su che cosa "è" la luce. Cambiare proprio la visione ...

Sappiamo descriverla, ma è difficile dire **che cosa "è"**. In fisica si dice che è **"energia che si propaga"**. Ma che energia si propaga nello spazio vuoto che la luce del Sole attraversa? Il fisico Faraday, chimico e fisico

londinese della prima metà dell'Ottocento, risponde che nel vuoto c'è l'energia del **"campo elettromagnetico"**.

Come giocare a mosca cieca ... Abbiamo solo spostato la domanda. **Che cos'è questo campo invisibile?** Ci dicono: qualcosa che riempie lo spazio come un'immensa ragnatela di linee. A sinistra le linee sono rappresentate in rosso per farle vedere, ma è solo un disegno. A destra invece sono rese visibili dalla limatura di ferro attratta dal magnete. **Il campo è quella caratteristica dello spazio che costringe il ferro a disporsi lungo queste linee.** Insomma la limatura di ferro è il lenzuolo e il campo è il fantasma.

Eppure Faraday, in una straordinaria pagina del suo bellissimo libro, si chiede se questi campi **che egli immagina riempire tutto lo spazio "siano reali"**. **Con esitazione propone di considerarli tali. Ci chiede di immaginarli reali.**

D'un tratto il mondo di Newton, quello immaginato come uno spazio vuoto, in cui corrono pianeti e stelle che si attirano meccanicamente l'un l'altra, cambia. Il pensiero umano, quello di Faraday in questo caso, immagina **"uno spazio diverso"**, in cui ancora valgono ovviamente sempre le stesse leggi, ma in cui valgono anche leggi nuove, frutto della esistenza di questo nuovo oggetto, **il campo**, reale o no ancora non si sa, solamente che un uomo ipotizza.

Adesso che il pensiero l'ha concepito l'uomo possiede un metodo per mettere alla prova l'idea e verificare se resiste alle prove sperimentali.

SLIDE DESCRIVERE IL CAMPO

La storia è breve. Nel giro di pochi anni **Maxwell**, fisico e matematico scozzese, trasforma l'intuizione di Faraday e **descrive matematicamente il campo elettromagnetico con un solido sistema di equazioni, le equazioni di Maxwell**, appunto.

Il valore di queste equazioni risiede nel fatto che rappresentano una sintesi di tutte le idee di tutti gli scienziati che allora studiavano elettricità e magnetismo. Sono loro che generano le invisibili ragnatele, l'invisibile campo di forza.

Maxwell usa la matematica per descrivere la nuova visione del mondo.

La teoria è fruttuosa. Si comprenderanno a fondo sia l'elettricità che il magnetismo e si capirà che **la luce non è altro che una rapida increspatura su queste ragnatele.** E poi capirà che increspature simili, ma non di luce, quelle onde elettromagnetiche di lunghezza d'onda maggiore, onde non luminose, che non portano la luce, **portano segnali.** Segnali elettromagnetici appunto.

SLIDE IMMAGINARE SEGNALI RADIO, TV...

Fine dell'Ottocento. Nel 1888 **Heinrich Hertz**, un fisico tedesco, **riproduce questi segnali prodotti dalle onde elettromagnetiche in laboratorio.** Con un esperimento dimostra che **i segnali elettromagnetici** possono essere inviati attraverso l'aria, come già predetto da Maxwell e da Faraday e pone le basi per **l'invenzione della radio.**

1901. Marconi costruisce la prima radio e da lì nascerà tutto, TV, telefoni, WIFI. L'evoluzione della telefonia, è rapidissima. **L'universo delle telecomunicazioni moderne poggia su questa nuova visione del mondo, di cui un ingrediente essenziale sono gli inosservabili campi elettromagnetici.**

SLIDE IMMAGINARE ENTITÀ INVISIBILI AGLI OCCHI

Tutto ciò parte dall'idea che sia ragionevole ipotizzare l'esistenza di entità nuove, anche se invisibili, per rendere conto dei fenomeni. Entità poi puntualmente osservate e quindi perfettamente descritte in linguaggio matematico.

Il campo ha lo stesso ruolo dell'“apeiron” di Anassimandro, certo l'apeiron è un concetto grossolano, non verificato e non descritto matematicamente. Ma senza lo sforzo di immaginazione dei filosofi greci che hanno introdotto l'idea l'umanità non avrebbe mai potuto concepire il concetto di campo elettromagnetico.

Da Anassimandro abbiamo continuato a farlo. Abbiamo continuato ad immaginare cose invisibili agli occhi, sensate, e descrivibili matematicamente. E dal progresso ottenuto vediamo che è cosa molto buona.

Come ben sapeva anche il saggio Piccolo Principe

Secondo approfondimento 30 novembre 2022