

# Bollettino d'Informazione



**PONTE MORANDI A CATANZARO (1958 – 1962)**

Immagine della gigantesca centina prima dell'esecuzione del getto di calcestruzzo

# In questo numero

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| Editoriale .....           | Pag. 1  |
| Nota della Redazione ..... | Pag. 3  |
| Focus .....                | Pag. 5  |
| Approfondimenti .....      | Pag. 26 |
| Cultura e Società .....    | Pag. 33 |
| Eventi .....               | Pag. 41 |
| Aggiornamento albo .....   | Pag. 52 |

Il giornale viene inviato a tutti gli Ingegneri iscritti all'Albo e presso gli Uffici Tecnici di Enti locali della Provincia di Catanzaro, della Regione Calabria e dell'Amministrazione Provinciale di Catanzaro, ai Ministeri di Grazia e Giustizia e Lavori Pubblici; agli Ordini degli Ingegneri d'Italia, all'Ordine degli Architetti di Catanzaro, al collegio dei Geometri, all'Ordine dei Geologi, all'Ordine degli Agronomi della Provincia di Catanzaro, all'Associazione Industriali ed all'Associazione Costruttori, alle Università della Calabria e del Consiglio Nazionale Ingegneri; al Tribunale di Catanzaro, alla Corte di Appello, alla Procura di Catanzaro.

La Redazione avverte i lettori che non si assume nessuna responsabilità per eventuali danni causati da informazioni errate. Gli articoli firmati esprimono solo l'opinione dell'autore e non impegnano in alcun modo né l'editore né la redazione.

La collaborazione alla rivista è aperta a tutti i colleghi. Chi desidera pubblicare articoli, relazioni, progetti, memorie, note e lettere di interesse generale è pregato di inviarle in duplice copia alla redazione, presso la sede dell'Ordine.

Testi, fotografie e disegni, anche se non pubblicati, non vengono restituiti.

L'immagine di copertina è tratta dal libro La fisica dei perpleksi, l'incredibile mondo dei quanti di Jim Al-Khalili, Bollati Boringhieri editore.

## COMPONENTI DEL CONSIGLIO DIRETTIVO

Presidente  
**Gerlando Cuffaro**  
Vice Presidente Vicario  
**Giuseppe Stefanucci**

Vice Presidente  
**Francesco Augruso**  
Segretario  
**Francesco Dattilo**

Tesoriere  
**Gilda Rita Lifrieri**

Consiglieri  
**Elisabetta Anania**  
**Raffaella Angotti**  
**Domenico Angotti**  
**Fabio Cosco**  
**Salvatore Lupica**  
**Salvatore Saccà**  
**Antonietta Sacco**  
**Salvatore Tucci**  
**Cristian Veraldi**  
**Jessica Panzino**

## BOLLETTINO DI INFORMAZIONE numero 2 - 2025

Direttore responsabile: **Ing. Gerlando CUFFARO**

Capo Redattore: **Ing. Francesco AUGRUSO**

Redattore: **Ing. Salvatore SACCÀ**

Comitato di redazione: **Ing. Francesco DATTILO**

**Ing. Pino IIRITANO**

**Ing. Giuseppe STEFANUCCI**

**Ing. Cristian VERALDI**

**Ing. Fernando VIRONE**

Segretari: **Leonida LEONE**

**Alfonso ZINZI**

Direzione  
e Redazione: **Via Chimirri, 10 - 88100 Catanzaro - Tel. 0961.747013**

**Fax 0961.792949 - e-mail: mail@ordineingegneri.cz.it**

**http://www.ordineingegneri.cz.it**

**PEC: ordine.catanzaro@ingpec.eu**

**Autorizzaz. Trib. Catanzaro - n. 34/86 del 24 Maggio 1986**

Addetto stampa: **Dott. Alessandro Tarantino**

Stampa: **"Graficherre sas di Francesco Raffaele & C."**  
**Via Tripoli, 3 - Tel./Fax 0961.721805 - 338.9913570**  
**88100 Catanzaro**

## Editoriale

a cura di Ing. Gerlando Cuffaro  
Presidente dell'Ordine

*Cari Colleghe e Colleghi,*

mi pregio dare Loro le notizie che hanno caratterizzato il nostro Ordine nella seconda metà dell'anno in corso, in occasione della pubblicazione del secondo semestre anno 2025 del Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri di Catanzaro.

Questo periodo, successivamente alla pausa estiva, è stato caratterizzato da molti eventi organizzati dal nostro Ordine e a cui abbiamo partecipato con la preziosa collaborazione dei Consiglieri e di tutti i Colleghi che fanno parte dei dipartimenti che abbiamo istituito.

In tal senso, mi corre l'obbligo di ringraziare la Consigliera Antonietta Sacco per l'alacre e proficua attività del dipartimento dei giovani ingegneri, sempre pronti a dare preziosi contributi, successivamente vagliati in Consiglio.

I tanti convegni e seminari organizzati sono, in gran parte, elencati e documentati nel presente Bollettino dell'Ordine e, in merito, ringrazio il Vice Presidente Francesco Augruso che ha attivamente spronato i Colleghi a dare il proprio contributo con articoli tecnici afferenti alle varie attività del nostro Ordine.

Inoltre, in prima persona, spesso con l'attivo sostegno del Vice Presidente Vicario Giuseppe Stefanucci che mi garantisce sempre e in maniera incondizionata un valido e costante supporto sui temi specificamente tecnici quali quelli sull'edilizia e lavori pubblici, nonché sui temi, molto attuali, urbanistici con il prezioso apporto del Consigliere Fabio Cosco ho seguito diverse iniziative nell'interesse generale della categoria.

Tutti gli altri Consiglieri, hanno fornito al sottoscritto e al nostro Ordine il loro costante contributo e, a tal scopo, tra tutti, intendo segnalare le Consigliere Raffaella Angotti e Gilda Lifrieri, molto attive nelle materie da loro gestite della programmazione di eventi per la formazione continua e degli ambiti ambientali, nonché il Consigliere Segretario Franco Dattilo per la costante attività in ambito forense, sempre pronto a dare il proprio contributo ai Colleghi interessati dall'ingegneria forense.

Tanto premesso, tra i tanti eventi organizzati e a cui ho partecipato, fornendo sempre il contributo fattivo, ponderato e propositivo, mi piace rappresentare il Congresso Nazionale svoltosi presso

Macerata e Ancona, dove tutti i Consiglieri che vi hanno partecipato sono stati impegnati nelle varie sessioni di lavoro e in cui ho manifestato il mio pensiero nel corso di un apprezzato intervento. Come Loro immaginano, il mio intervento è stato sempre puntuale e a volte pungente, rappresentando nell'assise nazionale che il ruolo dell'Ingegnere è ormai da troppo tempo sottovalutato e dagli organismi governativi, basti pensare che, nel recente



disegno di legge sulla nuova visione governativa delle professioni, quella dell'ingegnere è stata relegata in associazione a professioni non ordinistiche e tale aspetto è stato da me sottolineato nell'intervento istituzionale nel corso dell'assemblea nazionale degli ingegneri, pur rappresentando che, se il nostro Consiglio Nazionale saprà essere protagonista in tale evoluzione legislativa, potremo trarre dei vantaggi e promuovere un'identità dell'Ingegnere marcatamente significativa e più apprezzata dalle istituzioni e, in generale, dai Cittadini, rammentando che il nostro ruolo è volto alla sicurezza della cosa pubblica del Paese e, in termini più alti, dei cittadini.

In tal senso, su invito del Consiglio Nazionale Ingegneri rivolto a tutti gli Ordini territoriali, il nostro Ordine ha inviato delle proposte molto

appreziate che sono state rielaborate sulla scorta di apposita riunione del dipartimento dei nostri giovani ingegneri che, guidati dalla Consigliera Antonietta Sacco, hanno saputo ben interpretare il momento storico che ci può vedere attori del cambiamento della nostra professione e, in merito, ho appositamente relazionato in una recente Assemblea dei Presidenti.

Nel corso dei miei interventi nell'Assemblea Nazionale, per la mia pregressa presidenza del nostro Ordine sono solito ricordare quando, all'epoca, gli Ingegneri erano più apprezzati, stimati, rispettati e, forse anche riveriti, dalle istituzioni governative e, assieme agli altri Consiglieri, tra tutti spiccava la figura del nostro catanzarese Ing. Giovanni Angotti che, purtroppo, è recentemente venuto a mancare. Vorrei, pertanto, ricordare a tutti la figura del compianto Ing. Giovanni Angotti, già apprezzato Presidente del CNI, che ha saputo dare un forte e continuo contributo per tutti gli ingegneri e di questo dobbiamo esserne fieri.

Assieme a tutti i Consiglieri abbiamo riverito la Sua figura in un recente consiglio, con una doverosa, sentita e commovente sospensione dei lavori, elevando una preghiera e, sua mia proposta, accolta all'unanimità, intitoleremo la stanza del Presidente del nostro Ordine alla memoria dell'Ing. Giovanni Angotti, in un'apposita seduta commemorativa.

Quanto alle altre svariate attività promosse dal nostro Ordine, successivamente alle ferie estive, voglio ricordare un importante convegno internazionale cui ho presenziato rivolgendo il saluto del nostro Ordine e ringraziando per l'attenzione che ci è stata dimostrata, e a cui tanti Colleghi hanno partecipato per via remota, sull'Intelligenza Artificiale applicata nei campi dell'ingegneria edile, più specificamente sulla sicurezza sul lavoro, nell'ingegneria biomedica e nella ingegneria economica e gestionale, con un parterre di relatori di alto spessore e riconosciuti in campo internazionale.

Nel corso del convegno ho stretto rapporti con l'Ing. Giuseppe Giorgianni, stimato Collega di Messina che opera con start-up in campo biomedico ed economico, già consulente della Ministro Casellati e sempre attivo su nuove forme di collaborazione professionale con gli ingegneri e, per suo tramite, sono stato messo in contatto con il Presidente della Camera di Commercio italiana presso gli Emirati Arabi con sede a Dubai, con cui stiamo sottoscri-

vendo un protocollo d'intesa atto a disciplinare una serie di attività formative e lavorative tra gli Ingegneri della Provincia di Catanzaro e gli Emirati Arabi, a cui seguirà, nei primi mesi del prossimo anno, un importante evento in presenza in Italia assieme all'Ordine degli Ingegneri di Messina.

Ritengo che dovremo ragionare in maniera profetica e futurista, creando i presupposti di scambio lavorativo con altri paesi e, fra tutti, gli Emirati Arabi dove vi sono molte imprese italiane che lavorano attivamente e dove nascono quotidianamente numerose start-up su base ingegneristica. Abbiamo il dovere di dare ai giovani Colleghi, oltre che le speranze per un mondo migliore e condizioni di lavoro più appetibili, le possibilità strategiche di poter operare competitivamente in tutto il mondo. In tale ottica questo incontro con il Presidente della Camera di Commercio italiana presso gli Emirati Arabi, con conseguente sottoscrizione di un protocollo d'intesa, consentirà a tutti i nostri ingegneri di aprire nuovi orizzonti per una più proficua e soddisfacente attività professionale che consentirà anche guadagni più consoni di quelli che l'Italia ci offre, con l'iniquo e non adeguato riconoscimento degli onorari professionali con il decreto legislativo che io, sarcasticamente, definisco dell'Equo ribasso". Chiudo il presente editoriale invogliando tutti loro, segnatamente i giovani, spinti da maggiore attività propositiva, a partecipare ai convegni, seminari e incontri che quotidianamente organizziamo, non soltanto per acquisire i fatidici CFP, ma per arricchire la propria professionalità e per dare un impulso ai dipartimenti e commissioni che il nostro Ordine ha istituito dove, spesso, si registrano poche presenze e questo dispiace, in relazione a tutta le attività che io, assieme ai nostri Consiglieri, stiamo organizzando, il tutto per una visione futuristica e adeguata ai cambiamenti della professione che ogni giorno si avvertono.

Nella speranza che, con tali premesse e sulla scorta di tali diversificate attività formative e lavorative si possa crescere sotto il profilo umano e professionale, augurandomi che il ruolo dell'Ingegnere possa presto essere più rappresentativo e rispettato dalle istituzioni governative, nonché leader nelle transizioni in atto, formulo a tutti voi e alle vostre gentili famiglie gli auguri più sinceri di buon Natale e felice anno nuovo.

Il Presidente  
(dott. ing. Gerlando CUFFARO)

## Nota della Redazione

a cura di Ing. Francesco Augruso  
Capo Redattore, Vice Presidente dell'Ordine

In linea con l'impostazione che ci siamo data sin dall'inizio, questo numero del bollettino segna un passo in avanti sui tre punti cardine che caratterizzano l'orientamento di principio ed operativo del nostro editore che è il Consiglio, limpida espressione dell'Ordine che, su mandato di tutti gli iscritti, governa la vita dell'Istituzione.

Peraltro il prossimo sarà un anno in cui si conclude il quadriennio di vita di questa consiliatura e tale scadenza offre l'occasione di una riflessione complessiva del nostro operato.

Di seguito le direttrici che orientano la nostra presenza:

- l'informazione agli iscritti, ad ampio raggio, sull'attività dell'Ordine e degli organismi di riferimento sovraordinati, il CNI, con la relativa fondazione che ne costituisce il naturale supporto operativo, e l'assemblea congressuale annuale, momento di incontro e di approfondimento sulle tematiche più importanti della categoria. Su tale argomento questo numero fornisce ampia e documentato materiale di informazione e di aggiornamento;
- il coinvolgimento di una platea sempre più estesa e sempre più qualificata dei nostri iscritti che hanno la voglia, le competenze e il tempo per approfondire, ciascuno nel proprio campo, il lavoro di ricerca e di innovazione offrendo ai lettori spunti e finestre orientati nella direzione verso cui ciascuno predilige o ritiene di potere ottimizzare il dominio di attività;
- fornire un contributo decisivo per la formazione continua dell'ingegnere in un mondo che da tempo ha superato gli asfittici confini dei riferimenti territoriali e ci chiama, grazie agli strumenti offerti da Internet e dalla trasformazione digitale, ad essere soggetti attivi nel piccolo-grande villaggio del *disordine globale*.

Alla luce di questa doverosa premessa di carattere metodologico appare doveroso un breve excursus sulla ricca e variegata offerta dei nostri collaboratori e che proponiamo alla curiosità e all'interesse dei nostri lettori.

Nella rubrica *Focus* Fernando Virone, con la sua consueta voglia di andare al fondo del problema di volta in volta trattato, offre uno straordinario spaccato sull'affascinante mondo della fisica quantistica, una delle due grandi rivoluzioni della fisica moderna del primo novecento.

Sembra superfluo ogni tipo di chiosa su quello che è un vero e proprio saggio di FQ e che offre, tra l'altro, nella parte iniziale, in *pillole*, un prezioso contributo per i lettori interessati. Necessaria premessa per stuzzicare la curiosità del lettore e stimolare la voglia di andare oltre nello studio e nella ricerca.

Si avrà modo così di addentrarsi in una branca della fisica di natura contro-intuitiva, che spesso contrasta con la razionalità e la logica cui ci ha abituati la fisica classica e che è riuscita a dare sistemazione e dignità scientifica al misterioso mondo subatomico. Il sostrato vero del mondo della materia che forma l'universo infinito in cui siamo immersi anche noi, umili mortali. Sono sicuro che l'autore del raffinato saggio consentirà di dissentire su alcune sue conclusioni di carattere narrativo che rappresentano, a parere di chi scrive, un ingeneroso giudizio su Albert Einstein che, dopo essere stato l'unico ed esclusivo fondatore della teoria della relatività, ha dato anche un contributo determinante alla nascita e ai progressi della fisica quantistica.

Perché se è vero che pure nella scienza, come in generale avviene nella vita, *la storia la scrivono i vincitori* è altrettanto vero che il *lupo solitario*, come veniva chiamato Einstein, dette un impulso decisivo per riesumare, dopo cinque anni, il precedente lavoro di Max Planck, il primo vero padre fondatore dei quanti. Nella semplice, poi divenuta celebre formula sull'energia ( $E = v \cdot h$ ), Planck, al pari di Einstein ( $E = m \cdot c^2$ ), gettò le basi per capire su base scientifica i misteri del micro e del macrocosmo. Fu proprio a seguito di uno tre articoli scritti da Einstein nel 1905 sul fenomeno dell'effetto fotoelettrico, che peraltro gli valse il premio Nobel soltanto nel 1921, che furono ripresi gli studi sul corpo nero e sui quanti di energia e si avviò quel lungo processo che attraverso il contributo di vari scienziati (Bohr, Pauli, De Broglie, Heisenberg, Dirac e non ultimi l'italiano Fermi e il giapponese Yucawa) portò in conclusione dei *trent'anni che*

sconvolsero la fisica (v. George Gamow) alla sistemazione della meccanica quantistica accettata universalmente e che fa capo alla scuola di Copenhagen guidata da Niels Bohr. E se è vero che i grandi si dimostrano tali distinguendosi per la loro umiltà e disponibilità a mettersi sempre in discussione, nel corso delle interminabili dispute e scontri tra Einstein e Bohr durante la famosa *cena dei fisici quantistici* al Congresso Solvay del 1927, il grande Albert, tra un boccone e l'altro, a un certo punto estrasse dalla tasca il suo fazzoletto bianco e sventolandolo al di sopra della testa pronunciò la famosa frase: *"Dio non gioca a dadi..... ma questa volta ha fatto eccezione!"*. Di fatto, Einstein, sempre alla continua ricerca della teoria dell'unificazione delle quattro forze, non accettò mai il metodo probabilistico della scuola di Copenhagen ma ne riconobbe, alla fine, la validità sul piano della serietà e sostenibilità scientifica, contribuendo ancora alla definitiva sistemazione della nuova teoria.

Una ulteriore perla che impreziosisce questo numero del bollettino è il contributo che viene dal collega del nostro Ordine, prestigiosa figura del mondo accademico delle università calabresi, Prof. Ing. Pietro Hiram Guzzi. Egli tratteggia con tocchi magistrali quello che oggi è diventato il *leitmotiv* del mondo dell'informazione e dei media in generale, l'intelligenza artificiale.

Evidenzia il perché oggi l'IA è divenuta una realtà ineludibile per tutti e non solo per il mondo informatico, ne delinea le competenze chiave e, soprattutto – in rapporto a quanto interessa in modo diretto la nostra professione - affronta le tematiche riguardanti l'evoluzione delle facoltà di ingegneria e le ricadute sulla professione e sulla competitività. Proprio a riprova dell'importanza di tale ultimo aspetto continueremo a fornire ai nostri lettori, nei prossimi numeri, contributi di carattere specialistico provenienti dalle tante figure che in silenzio portano alto nella loro quotidiana attività di lavoro e di ricerca il vessillo del nostro Ordine.

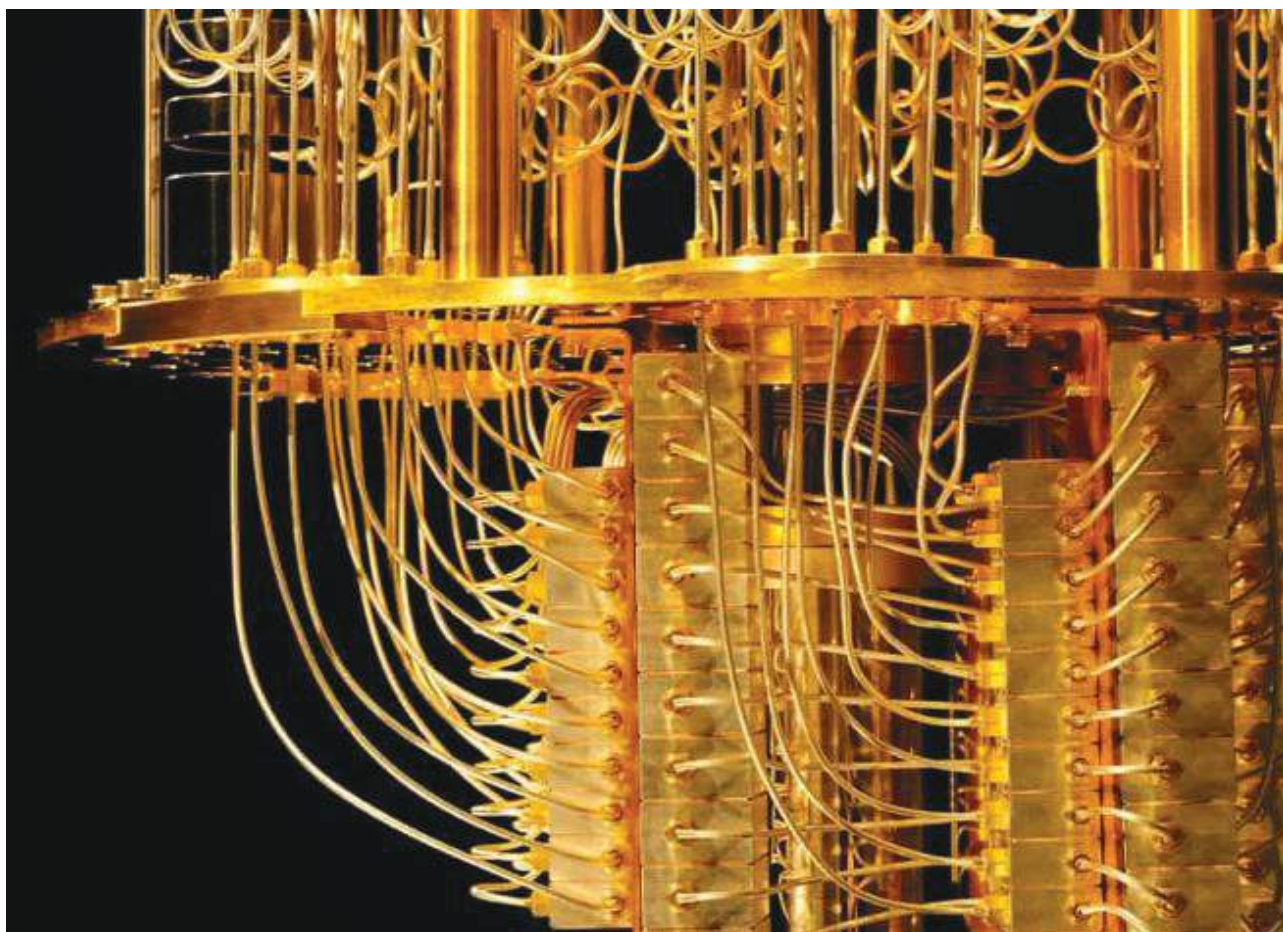
La pressione asfissiante esercitata sullo scrivente, in quest'ultima fase di preparazione della nostra rivista, da parte della tipografia e degli uffici dell'Ordine, in rapporto a imprescindibili impegni afferenti ai costi e alla distribuzione postale, impediscono di dedicare la necessaria e abituale presentazione degli altri articoli che arricchiscono

il bollettino. Ci penseranno i lettori ad apprezzarne qualità e valore. A ciascuno degli autori, elencati nell'ordine: ingegneri Caterina Dardano, Pasquale Materazzo, Leonardo Teocoli, Giancarlo Spadandu, Fabio Cosco, Antonietta Sacco e Giuseppe Stefanucci, infaticabile ed insostituibile, motore di lavoro dell'intero Consiglio, va il ringraziamento di chi scrive e dell'intero Ordine, esortandolo a fornire ancora il proprio contributo per l'ulteriore crescita dell'Istituzione e degli iscritti tutti.

E' utile, infine, richiamare l'attenzione dei lettori sull'immagine di copertina. Essa ritrae la gigantesca centina del ponte Morandi, opera simbolo della nostra città capoluogo e fornisce una plastica e monumentale idea di un'opera, avviata nel 1958 e costruita in soli tre anni, che vanta diversi primati a livello mondiale e che è stata realizzata col contributo eroico di maestranze e tecnologie d'altri tempi. Al prof. Riccardo Morandi (†) e ai suoi allievi Prof. Giorgio Croci (†) e Mario Paolo Petrangeli, va un pensiero di riconoscenza particolare dello scrivente per avere appreso alla scuola di ingegneria strutturale della Sapienza di Roma l'amore, la passione e le prime nozioni per l'ideazione, la progettazione e l'esecuzione dei ponti in cemento armato e cemento armato precompresso.

Un pensiero particolare per l'ingegnere Giovanni Angotti, che ci ha di recente lasciati. Insigne figura che fu Presidente del nostro Ordine, fondatore e Presidente della Federazione degli Ingegneri della Calabria, Presidente del Consiglio Nazionale degli Ingegneri e poi alla guida del Centro Studi in capo allo stesso CNI. Indimenticabile maestro di vita e luminoso esempio di equilibrio e di saggezza.

## IL COMPUTER QUANTISTICO: l'utopia possibile



IBM Eagle, il primo processore quantistico a 127 qubit

### Premessa

Che cos'è un *computer quantistico*? Si tratta di un'entità metafisica, di un progetto avveniristico o di una concreta opzione scientifica con relative tecnologie a corredo per una sua produzione industriale? E ancora: si tratta solo di applicare un nuovo *guscio* alla logica digitale alla base degli attuali elaboratori o il *quantum computing* consentirà di risolvere nuovi problemi o problemi vecchi che oggi non sono alla portata dell'attuale apparato computazionale? E poi, non sembra contraddittorio il ricorso alla fisica quantistica, il regno per eccellenza della *probabilità*, applicato all'elaborazione informatica, alla quale chiediamo *certezze* quasi assolute?

A questi e ad altri interrogativi proveremo a rispondere nel corso di questo articolo, prendendo per mano il lettore e guidandolo passo

dopo passo alla scoperta di questa nuova frontiera scientifica e tecnologica, con l'obiettivo di illuminare almeno gli aspetti cruciali dell'argomento.

### Un mondo inafferrabile

La meccanica quantistica è ormai quasi centenaria, ma continua ad affascinare scienziati e non, perché basata su concetti *controintuitivi*, in contrasto con il senso comune e la nostra esperienza quotidiana. Il nocciolo di questa teoria ci dice che non è possibile prevedere con certezza il verificarsi di un fenomeno, ma solo calcolare la *probabilità* che avvenga. Le certezze della fisica classica lasciano il posto ad un approccio *probabilistico*, ma che, come vedremo, è tutt'altro che approssimativo e rinunciatario, e, benché la sua formulazione nasca dallo studio del mondo subatomico, le sue leggi funzionano benissimo

anche in un macro dominio, quello che, fino all'ultimo decennio del XIX secolo, era terreno incontrastato della fisica classica.

In questo dominio è naturale osservare, per un dato sistema fisico, le proprietà che ci interessano e poi assegnare loro uno o più valori. Per descrivere un'automobile in movimento, per esempio, ci concentriamo su aspetti come la velocità e la posizione, misuriamo queste grandezze nel tempo e le registriamo. Questo metodo non solo ci permette di conoscere lo stato attuale dell'auto, ma anche di prevedere eventi futuri (ad esempio, in quanto tempo raggiungerà una certa destinazione). È importante sottolineare che la **misurazione** delle grandezze di interesse (posizione, velocità, ecc.) **è ininfluente rispetto al comportamento del sistema misurato**.

Immaginiamo ora di ridurre le dimensioni dell'automobile osservata fino a farla diventare piccola come pochi atomi: ci accorgeremo che il nostro oggetto diventerà sempre più sensibile alle attività di misurazione fino ad alterarne radicalmente il comportamento. Se, ad es., ci concentriamo sulla misura della posizione, sappiamo che essa viene effettuata con strumenti di varia natura, come occhi umani, telecamere o sensori laser, tutti dispositivi che sfruttano la luce o altre forme di radiazione elettromagnetica emessa o riflessa dall'auto. Questo processo ci appare naturale e ovvio, tant'è vero che gli scienziati lo hanno dato per scontato per secoli, mai ipotizzando difficoltà concettuali.

In realtà, proprio la *sensibilità* alla misurazione è al centro della necessità di introdurre delle nuove leggi per descrivere i sistemi atomici, che non possono obbedire ai dettami della fisica classica. Infatti, se la nostra macchina ha delle dimensioni *normali*, noi possiamo misurarne la posizione senza alterarla, e senza alterarne la velocità, perché la luce che indirizziamo su di essa per rilevarne la posizione non avrà praticamente nessun effetto sull'oggetto. Al contrario, se la macchina è composta da pochi atomi, la luce necessaria alla misura, anche se estremamente debole, interagirà con gli atomi stessi, producendo degli effetti significativi, ad es., causando una spinta che ne cambierà la velocità. Anche un

singolo fotone, la minima quantità di luce che è possibile inviare, avrà infatti su un atomo un effetto equivalente a quello di scagliare contro un'auto una palla di cannone, producendo, come è ovvio, effetti molto significativi per le grandezze che intendiamo misurare.

Quando ci addentriamo nel mondo atomico, non è più possibile ignorare che i nostri strumenti di osservazione interagiscono con l'oggetto osservato; nel mondo quantistico **l'atto stesso di misurare altera ciò che stiamo cercando di comprendere**.

### Il regno dell'*indeterminazione*

L'effetto sopra descritto ha trovato un suo riscontro teorico nell'affascinante **principio di indeterminazione**, formulato nel 1927 da Werner Heisenberg, un giovane scienziato tedesco di 26 anni. Tale principio ha letteralmente stravolto il nostro modo di vedere l'universo, in quanto ha svelato un limite insuperabile: **la natura stessa** impedisce di conoscere contemporaneamente e con precisione assoluta la posizione e la velocità di una particella. Questo limite non ha alcuna attinenza con la precisione degli strumenti di misura (sempre migliorabili), ma costituisce una barriera invalicabile, **insita nelle leggi dell'universo**. L'incertezza, in altri termini, è intrinseca alla natura stessa delle cose. Heisenberg calcolò questo valore limite: l'incertezza nella posizione moltiplicata per l'incertezza nella velocità non può mai essere inferiore al valore di una costante universale, la **costante di Planck**, un numero incredibilmente piccolo ( $6,626 \times 10^{-34}$ ), che agisce come una soglia inviolabile.

La costante di Planck stabilisce quindi un limite invalicabile alla precisione delle nostre misure, ma, proprio perché il suo valore numerico è piccolissimo, tale limitazione non è percepibile nell'esperienza quotidiana.

L'esistenza di questa costante universale e perché assuma proprio quel preciso valore continuano ad essere uno dei misteri più affascinanti della scienza.

## Un universo *probabile*

Costretti, dunque, a rinunciare alla descrizione **esatta** di un sistema, i fisici hanno dovuto abbracciare un approccio **probabilistico**: non possiamo prevedere con certezza il risultato di una misura, ma solo calcolare la probabilità di ottenere un risultato piuttosto che un altro. A questo scopo è stato introdotto uno strumento matematico, denominato *funzione d'onda*, che non ci dice *dove* trovare esattamente, ad es., un elettrone, ma ci permette di *calcolare la probabilità* di trovarlo in un dato luogo.

Capite bene che questo approccio probabilistico non è solo un tratto distintivo della meccanica quantistica, ma un vero e proprio salto paradigmatico rispetto alla meccanica classica. Insistiamo su questo punto, in quanto essenziale per la successiva comprensione dei principi alla base della computazione quantistica: se pensiamo alla fisica di Newton, possiamo misurare con precisione la posizione e la velocità di una palla di cannone al momento del lancio e, applicando le leggi della meccanica newtoniana, prevedere **con assoluta certezza**, il punto esatto in cui impatterà al suolo.

Ma quando entriamo nel dominio subatomico, dove regnano le regole della meccanica quantistica, se, al posto della palla di cannone prendiamo un elettrone, non possiamo più parlare di posizioni o velocità **definite**. Tutto ciò che possiamo fare è misurare la probabilità di *dove potrebbe* essere l'elettrone e di quanto velocemente si muove in un dato momento. Invece di prevedere un risultato esatto, calcoliamo **una nuvola di possibilità**, cioè un insieme di potenziali posizioni future, ognuna con una probabilità associata. Quando, finalmente, **misuriamo** il punto in cui l'elettrone impatta (ad es., su una lastra fotografica), il risultato specifico è il **collasso** di questa *nuvola* in un punto preciso, **ma solo al momento in cui eseguiamo l'osservazione**. La meccanica quantistica, quindi, non ci dice dove l'elettrone *sarà*, ma dove *potrebbe essere*, trasformando la nostra comprensione della realtà.

Lo straordinario fermento scientifico che produsse la rivoluzione quantistica è racchiuso in circa

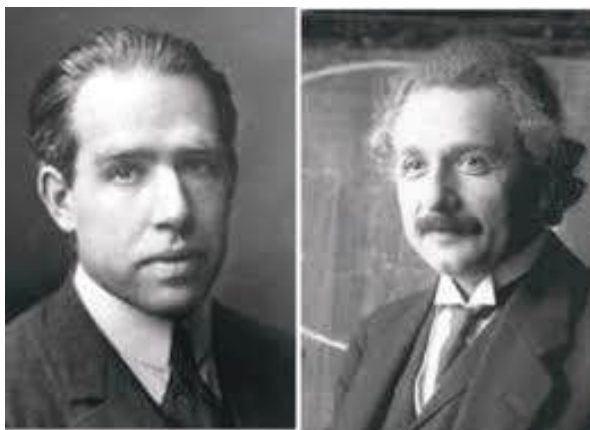
quarant'anni, che vanno, approssimativamente, dalla metà degli anni '90 dell'800 alla fine degli anni '30 del secolo scorso. Furono anni che videro succedersi scoperte epocali, accompagnate da dibattiti accesissimi tra i protagonisti: la portata di questa rivoluzione, se mai ce ne fosse bisogno, è dimostrata dal fatto che, a dispetto delle rigorose evidenze scientifiche, la meccanica quantistica ebbe feroci oppositori all'interno della stessa comunità scientifica che era in prima linea nel portare avanti le sperimentazioni sulla nuova frontiera. Giusto per fare nomi, è famosa l'affermazione di un certo Einstein secondo cui *"Dio non gioca a dadi con l'universo"*, che rifletteva il suo rifiuto dell'aspetto probabilistico della meccanica quantistica e non riuscì mai ad accettare l'idea di un universo governato dal caso. Tra l'altro, benché lo stesso Einstein si giovò dei risultati della fisica quantistica per alcune sue importanti teorie, questo gigante della scienza moderna impiegò gran parte delle sue energie intellettuali a cercare di trovare dei *buchi* nella teoria quantistica, per *riconciliarla* col determinismo della fisica classica, senza peraltro riuscirci.

Niels Bohr, uno dei grandi padri fondatori della meccanica quantistica, fu il principale interlocutore di Einstein in questo acceso dibattito, rispondendo con passione e rigore a tutte le osservazioni, dubbi e trabocchetti del grande Albert. Resta famosa la sua frase: *"Einstein, smettiti di dire a Dio cosa deve fare"*. Ma proprio Bohr, forse il principale *responsabile* della rivoluzione dei quanti, fu così sconvolto dalle implicazioni delle sue stesse scoperte, da dire:

*"Chi non rimane sconvolto quando si imbatte per la prima volta nella teoria quantistica non può assolutamente averla compresa"*, frase che rappresenta un monumento alla controintuitività di tale teoria rispetto alla nostra esperienza quotidiana. Beh, dopo circa un secolo, forse possiamo accettare che si comprendano i concetti quantistici senza rimanerne sconvolti, ma non possiamo assolutamente accettare che tale teoria venga ignorata!

## Pillole di storia dei “quanti”

Bene, saremmo pronti a immergerci nella problematica dei computer quantistici, ma ritengo che sia doveroso pagare un altro piccolo tributo a quel periodo cruciale per le sorti della scienza moderna (e dell'umanità intera), che vide sbocciare, crescere ed affermarsi la fisica del mondo subatomico, con tutte le implicazioni che oggi conosciamo. Naturalmente lo spazio non ci consentirà di andare al di là di *pillole* di storia della scienza, ma riteniamo che questo breve *excursus* sia fondamentale almeno per rispondere alla domanda: *come e perché nacque e si sviluppò la ricerca che portò alla scoperta e formulazione delle teorie quantistiche?*



Niels Bohr e Albert Einstein

### L'architettura della fisica classica

Alle soglie dell'ultima decade dell'800, il mondo scientifico dormiva sonni tranquilli, arroccato intorno ad alcune certezze apparentemente non scalfibili. Tutto ruotava intorno a due colonne, due autentici giganti della scienza, che erano riusciti a produrre una formidabile sintesi delle conoscenze (teoriche e sperimentali) che si erano sedimentate in secoli di studi, esperimenti e, spesso sofferti e osteggiati, risultati. Newton aveva edificato il robustissimo edificio della meccanica classica che, oltre a decifrare tutti i macrofenomeni osservabili sul nostro pianeta, riusciva, grazie alle leggi della gravitazione universale, a calcolare il moto dei pianeti e le interazioni tra i corpi celesti allora conosciuti. Maxwell, dal canto suo, aveva costruito una mirabile teoria dell'elettromagnetismo, suggellato dalle sue elegantissime equazioni. Intorno a questi due pilastri si muovevano le altre aree del sapere

scientifico, tra cui quelle che trattavano in modo più specifico della struttura della materia. In questo campo erano stati fatti consistenti progressi, tra cui l'individuazione e la classificazione degli elementi chimici, ma la sempre più approfondita conoscenza delle proprietà del regno minerale riposava attorno ad una assunzione che aveva il crisma del *dogma*: **l'indivisibilità dell'atomo**. Questa *verità* affermava che l'atomo era effettivamente *a-tomo*, l'unità elementare della materia, inespugnabile e inaccessibile.

I fisici pensavano di aver fatto quadrare ormai **tutto**. Tutta l'elettricità, tutto il magnetismo, tutta la luce, tutta la meccanica, tutte le cose in movimento, come pure la cosmologia e la gravità, tutto era spiegato nei termini di poche semplici equazioni. Per quanto riguardava l'atomo, la maggior parte dei chimici sentiva che l'argomento era pressoché completamente chiuso. C'era la tavola periodica degli elementi. Idrogeno, elio, carbonio, ossigeno, ecc., erano stati diligentemente classificati, ciascuno col suo proprio invisibile e indivisibile atomo.

C'era, è vero, qualche piccola incrinatura nel quadro, ma si tendeva a pensare che tutto, prima o poi, sarebbe stato ricondotto sulla retta via.

Poi, d'un tratto, alla fine del secolo, l'intero pacchetto cominciò a disfarsi, per colpa (o *per merito*) della fisica sperimentale.

### La scoperta della prima particella

Tutto nacque dagli studi sulle scariche elettriche che si formavano in tubi di vetro riempiti di gas quando veniva abbassata la pressione. La natura di queste radiazioni, battezzate come **raggi catodici**, divenne oggetto di acceso dibattito per identificarne la natura: per alcuni si trattava di vibrazioni elettromagnetiche, per altri di molecole del gas *intubato*, per altri ancora (dalla vista più lunga) di una nuova forma di materia, piccole particelle mai isolate prima.

Vari scienziati lavorarono a quest'ultima ipotesi, alcuni condussero esperimenti geniali, ma si fermarono a un passo dal traguardo. Nel 1896 Joseph John Thomson, professore di fisica sperimentale del prestigioso *Cavendish Laboratory* dell'Università di Cambridge, si mise a

studiare la natura del raggio catodico. Dopo una serie infinita di geniali esperimenti (che, purtroppo, qui dobbiamo omettere), Thomson annunciò nel 1897 questo sensazionale risultato: *“Abbiamo nei raggi catodici materia in un nuovo stato, in cui la suddivisione della materia è molto più avanzata che nel comune stato gassoso”*. Aggiunse: *“Questa suddivisione della materia è un ingrediente di tutta la materia ed è parte della sostanza di cui sono formati gli elementi chimici”*.

Thomson battezzò questa nuova particella col fortunato nome di **elettrone**, che, in realtà, era stato coniato da George Johnstone Stoney (un fisico irlandese) nel 1874 (ben 23 anni prima) per definire *l'unità di elettricità che si perde quando un atomo diventa uno ione*, solo che allora si era ben lontani dal collegare la carica elettrica ad un elemento costitutivo della materia.

Il sensazionale annuncio di Thomson venne integrato da ulteriori evidenze sperimentali, per cui solo nel 1898 Thomson si spinse a dire che **gli elettroni erano componenti dell'atomo** e che i raggi catodici non erano altro che elettroni separati dall'atomo. **Thomson aveva fatto a pezzi l'atomo!**

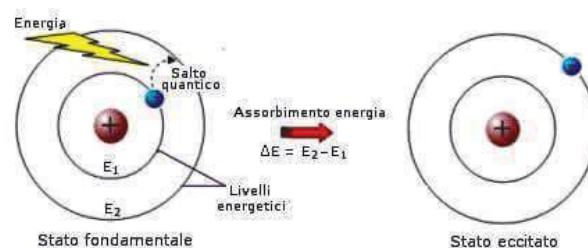
### Si scoprono i quanti

La scoperta dell'elettrone era solo il punto di partenza che incrinava la solidità dell'edificio classico, ma scatenò un vero effetto domino, in quanto, infranto il tabù dell'indivisibilità dell'atomo, si erano aperti infiniti spazi per formulare ipotesi che spiegassero i tanti problemi ancora irrisolti.

Nel 1900, Max Planck studiò la radiazione emessa da un *corpo nero* (un oggetto ideale che assorbe e riemette tutta la radiazione incidente). La fisica classica prevedeva che l'intensità della radiazione aumentasse indefinitamente per alte frequenze, ma gli esperimenti dimostravano il contrario. Si parlò di catastrofe *ultravioletta* per evidenziare il palese fallimento di una teoria ritenuta inattaccabile. Planck risolse il problema introducendo un'ipotesi rivoluzionaria: l'energia non è emessa o assorbita in modo continuo, ma in quantità *discrete*, chiamate **quanti**. L'energia di ciascun quanto è proporzionale alla frequenza

della radiazione: ( $E = h\nu$ , dove  $E$  è l'energia,  $h$  è la costante di Planck e  $\nu$  è la frequenza)

Questa idea, inizialmente interpretata come un artificio matematico, rappresentò la prima vera rottura con la fisica classica. Nel 1905, fu proprio Albert Einstein, irriducibile nemico dell'edificio quantistico, ad approfondire l'idea del *quanto* nel suo studio sull'effetto fotoelettrico. Egli ipotizzò che la luce stessa fosse composta da quanti di energia, i **fotoni**, che potevano trasferire energia agli elettroni di un metallo, permettendone l'emissione. Questa interpretazione confermava che la radiazione elettromagnetica aveva una natura corpuscolare, oltre che ondulatoria. Per questa scoperta, Einstein riceverà il Premio Nobel per la Fisica nel 1921.



Modello atomico di Bohr

### La struttura dell'atomo

Ma rimaneva ancora sconosciuta la struttura dell'atomo, del quale si riconosceva la necessità di garantire la neutralità elettrica (e quindi di essere dotato anche di particelle a carica positiva), ma del quale si ignorava qualsivoglia struttura supportata da evidenze sperimentali

Nel 1911 Ernest Rutherford, bombardando sottili lamine d'oro con particelle  $\alpha$ , scoprì che l'atomo è costituito da un piccolo nucleo positivo attorno al quale orbitano gli elettroni. Il suo modello planetario spiegava molte osservazioni, ma presentava un grave problema: secondo l'elettrodinamica classica, un elettrone in moto circolare dovrebbe irradiare energia e cadere nel nucleo in un tempo brevissimo, rendendo l'atomo instabile.

### Onde e materia

Nel 1913, Niels Bohr risolse parzialmente il problema integrando l'idea dei quanti di Planck. Propose che l'elettrone potesse muoversi solo su orbite *quantizzate*, nelle quali non irradia energia. L'energia poteva cambiare solo quando l'elettrone

saltava da un'orbita all'altra, emettendo o assorbendo un fotone:  $E_2 - E_1 = h\nu$ . Il modello di Bohr spiegava con grande successo lo spettro dell'idrogeno, ma non poteva essere esteso ad atomi più complessi.

Negli anni successivi, le ricerche si concentrarono sulla natura della luce e della materia. Esperimenti come l'interferenza e la diffrazione mostravano che la luce aveva una natura ondulatoria, ma l'effetto fotoelettrico e l'effetto Compton (1923) dimostravano che si comportava anche come un insieme di particelle. Questa apparente contraddizione fu chiarita da Louis de Broglie nel 1924, che estese il concetto di dualità anche alla materia. De Broglie propose che ogni particella materiale fosse associata a un'onda di lunghezza  $\lambda = h/p$ . Questa idea fu confermata nel 1927 dagli esperimenti di Davisson e Germer, che osservarono la diffrazione degli elettroni su un cristallo di nichel.

### Formulazione matematica e interpretazione di Copenaghen

Il periodo tra il 1925 e il 1927 segnò la vera nascita della meccanica quantistica come teoria coerente. Nel 1925 Werner Heisenberg elaborò la meccanica delle matrici, una formulazione puramente matematica in cui le grandezze fisiche (come posizione e quantità di moto) erano rappresentate da matrici non commutative. In questo formalismo, l'ordine delle operazioni era importante, e da ciò derivò il celebre principio di indeterminazione (1927), che afferma l'impossibilità di conoscere simultaneamente e con precisione arbitraria la posizione e la quantità di moto di una particella.

Quasi contemporaneamente, nel 1926, Erwin Schrödinger formulò un'altra versione della teoria, la meccanica ondulatoria, basata sull'idea di de Broglie. Egli introdusse l'equazione d'onda che porta il suo nome. La funzione d'onda non rappresenta la traiettoria di una particella, ma la probabilità di trovarla in una certa posizione. Nel 1926, Max Born interpretò correttamente tale funzione come una *densità di probabilità*, dando al formalismo quantistico un significato statistico. Le due formulazioni, quella di Heisenberg e quella di Schrödinger, si rivelarono poi matematicamente

equivalenti, rappresentando due linguaggi diversi della stessa teoria.

Tra il 1926 e il 1928, Niels Bohr, Heisenberg, Born e altri svilupparono la cosiddetta **interpretazione di Copenaghen**, che divenne la visione dominante della meccanica quantistica. Secondo questa interpretazione:

- La funzione d'onda fornisce solo informazioni probabilistiche sul sistema, non una descrizione oggettiva della realtà.
- L'atto di misurazione fa collassare la funzione d'onda, selezionando un risultato tra quelli possibili.
- La fisica non descrive ciò che "accade" realmente, ma solo **ciò che è osservabile**.

Nel 1928 Paul Dirac unificò la meccanica quantistica con la relatività ristretta, formulando l'equazione di Dirac, che descrive gli elettroni come particelle con spin. Da questa equazione emerse in modo naturale la previsione di una nuova particella: il positrone, antiparticella dell'elettrone, scoperto sperimentalmente da Carl Anderson nel 1932. Negli stessi anni si sviluppò la meccanica quantistica del campo, preludio alla teoria quantistica dei campi, che avrebbe dominato la fisica delle particelle nel dopoguerra.

Alla fine degli anni Trenta, la meccanica quantistica era ormai una teoria consolidata, capace di spiegare la struttura degli atomi e delle molecole, le proprietà dei solidi, la chimica quantistica, la radiazione e l'assorbimento di luce e i processi nucleari emergenti (grazie ai lavori di Fermi e del gruppo di Roma).

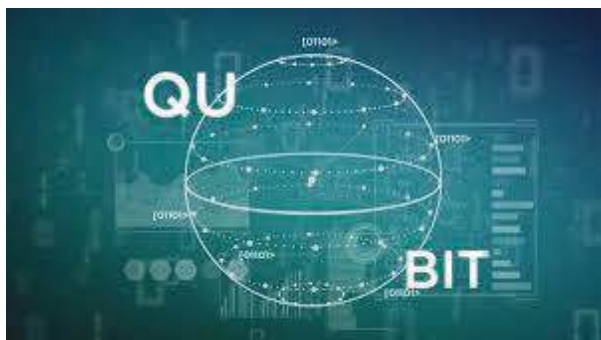
### Quantum computing: le basi

A questo punto dovremmo avere spalle sufficientemente robuste per entrare nel vivo dell'argomento del *quantum computing*. Innanzitutto rispondiamo alla domanda che un attento lettore non può non porsi dopo il piccolo *excursus* storico precedente: perché solo oggi si comincia a parlare di quantistica applicata al mondo della computazione automatica, dato che le basi teoriche si sono assestate da quasi un secolo? La risposta, fortunatamente, è piuttosto semplice: i computer che noi oggi conosciamo e utilizziamo, intendo quelli a logica binaria, sono

nati intorno agli anni 50 del '900, non tanto in virtù dei progressi teorici sul mondo binario, ma molto più prosaicamente perché in quel periodo cominciarono ad essere disponibili delle tecnologie che permettevano di realizzare dei circuiti funzionali al tipo di calcolo richiesto dai progettisti. Lo sviluppo dell'elettronica fu essenziale per la realizzazione dei primi dispositivi di calcolo: non dimentichiamo che il grande Turing, pur non essendo un elettronico, si costruiva da solo i suoi rudimentali computer con i quali lavorava alla decifrazione del *codice Enigma*. L'elettronica metteva a disposizione dei componenti, prima in forma valvolare, successivamente con i transistor, che permettevano di implementare in modo estremamente affidabile il codice binario. Infatti i transistor, che con gli incredibili progressi della miniaturizzazione, oggi affollano a miliardi una singola unità di elaborazione, fanno da inflessibili gestori del traffico dei bit: se il nostro bit deve essere 1, fanno passare la corrente, se deve essere 0 bloccano il flusso. Se si fosse optato per una rappresentazione elettronica più complessa della realtà (ad es., 5 o 10 stati), probabilmente i computer avrebbero avuto una gestazione ben più problematica.

Dunque, la teoria propone e la tecnologia dispone. Quando parleremo di **qubit** (presto), capirete senza ulteriori spiegazioni perché fosse impensabile, anche solo dieci anni fa, pensare a realizzare dei circuiti che implementassero realtà quantistiche complesse e, soprattutto, lo facessero in modo **affidabile**.

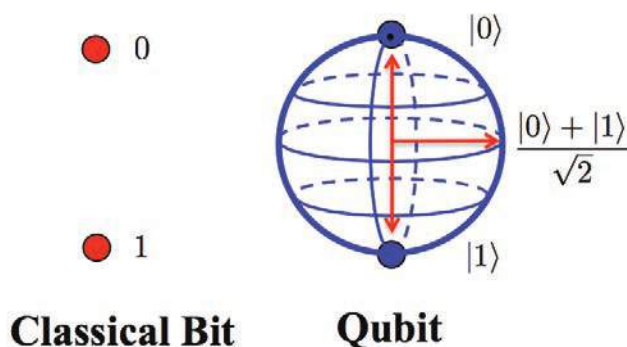
## Perché il computer quantistico



Rappresentazione grafica del Qubit

Il bit, come è noto, è l'*atomo* digitale, il mattoncino con il quale si è potuto costruire l'inimmaginabile. Anche gli algoritmi più complessi, che ci mettono a disposizione strumenti di intelligenza artificiale sofisticati, in ultima istanza non sono altro che infinite sequenze di zero e di uno. Allora, se con due sole tipologie di *Lego* riusciamo a costruire strutture così complesse che di alcune stiamo addirittura perdendo il controllo, perché sentiamo l'esigenza di una *svolta* nell'elaborazione dati computerizzata e stiamo tentando di alzare l'asticella ad altezze che ancora (come vedremo) non siamo completamente sicuri di poter raggiungere?

Le motivazioni di questa sfida sono tante, e alcune forse ancora poco definite; qui proveremo a proporre alcune, quelle che, a nostro avviso, sono le più affascinanti ed hanno una giustificazione evidente. Per cominciare, la miniaturizzazione cui si accennava sopra ha portato alla realizzazione di calcolatori in grado di eseguire cento milioni di miliardi di operazioni elementari al secondo, ma la *fame* di potenza elaborativa è insaziabile e la necessità di elaborare in tempi sempre più ridotti le enormi quantità di dati che la realtà digitale ci mette a disposizione spinge a *comprimere* sempre di più i circuiti per aumentare le *performances* computazionali. Ma questo processo non può continuare all'infinito e le dimensioni dei transistor si stanno avvicinando sempre più a quelle atomiche: qui si entra nel regno della meccanica quantistica e, superata la faticosa soglia, i computer tradizionali smetterebbero di funzionare. È necessario un cambio di paradigma per poter sostenere questa domanda: come vedremo, il nuovo bit quantistico, il **qubit**, fornirebbe ai nuovi calcolatori, in virtù della sua straordinaria flessibilità, delle possibilità assolutamente impensabili per un elaboratore classico. Il computer quantistico potrebbe eseguire in pochi secondi calcoli che richiederebbero milioni di anni al più potente computer oggi esistente.



Bit e Qubit

Ma quando parliamo di elaborazione quantistica entriamo a pieno titolo anche nel mondo delle comunicazioni, cioè della *trasmissione* dell'informazione. Oggi tutti i contenuti (testi, foto, video, ecc.) viaggiano nell'etere sulle ali di onde elettromagnetiche, che, come è noto, obbediscono alla fisica classica. Ma già si sta lavorando alla possibilità che, in un futuro non lontano, l'attuale infrastruttura di comunicazione lasci il posto a informazioni che viaggeranno alla velocità della luce, trasportate da *fotoni*, l'unità fondamentale delle onde elettromagnetiche.

Quando questa rivoluzione sarà operativa, ci sarà un salto in avanti su vari fronti: innanzitutto non sarà più possibile intercettare e copiare un messaggio senza essere scoperti. Il mondo delle comunicazioni sarà rifondato su nuove basi intrinsecamente sicure, di cui beneficeranno non solo le comunicazioni diplomatiche e militari, ma anche noi comuni cittadini nelle transazioni quotidiane, come l'uso delle carte di credito e la trasmissione / ricezione di dati sensibili.

Inoltre la sensoristica quantistica apre le porte a possibilità che sfidano l'immaginazione, strumenti così sensibili da percepire le minime fluttuazioni energetiche di un vulcano attivo o i segnali più sottili di una cellula malata. Addirittura alcune malattie potrebbero rivelarsi prima che diventino diagnosticabili con le tecnologie attuali.

Le applicazioni sono vastissime e il potenziale è enorme. L'onda lunga della computazione quantistica è ormai partita, la sperimentazione è attiva nei laboratori di tutto il pianeta e ogni giorno nuove motivazioni ne alimentano i tanti progetti.

## Arriva il qubit

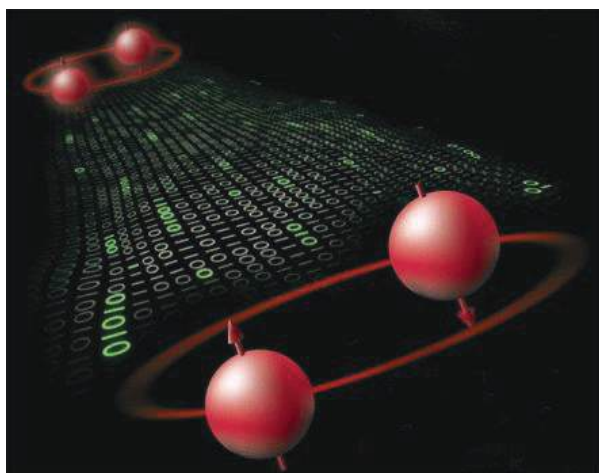
Se il bit è il mattoncino elementare per l'informatica binaria, il **qubit** lo è per l'informatica quantistica. Cerchiamo di scoprire quali sono le caratteristiche distintive del componente di base dei computer quantistici. Innanzitutto, mentre il bit può esistere solo in uno dei due stati, 0 o 1, il qubit può *potenzialmente* assumere entrambi i valori, in virtù di quello che abbiamo provato a illustrare sopra, cioè che un oggetto quantistico assume un valore solo quando viene *misurato*, altrimenti la sua quantificazione è solo probabilistica. Questo fenomeno viene comunemente denominato come *sovrapposizione*. Per rappresentare visivamente il qubit si usa spesso l'analogia con un mappamondo: il polo Nord rappresenta il valore 0, il polo sud il valore 1, tutti gli altri infiniti punti sulla superficie del mappamondo rappresentano la *probabilità* con cui troveremo, in fase di misurazione, il qubit in stato di 0 o di 1. Non possiamo prevedere quale valore assumerà il nostro qubit, fintantoché non *collasserà* in un valore certo (0 o 1), a valle della nostra misura. Prima di questo evento, possiamo affermare che il qubit è in uno stato di *sovrapposizione*, che permette la convivenza di entrambi gli stati.

Un'altra analogia spesso usata per comprendere il processo di misurazione quantistica è offerta dalla celebre figura della giovane-anziana, nota come la *moglie/suocera di Boring* (dal nome dello psicologo americano Edwin Boring), che non rappresenta né una giovane donna né una donna anziana, almeno fino a quando non la osserviamo. L'immagine, intrinsecamente ambigua, contiene *entrambe* le possibilità: solo quando l'osservatore posa gli occhi sulla figura, la percezione *collassa* in una delle due interpretazioni, determinando quale delle due donne vediamo. Questo processo di percezione è simile a ciò che avviene in meccanica quantistica, quando la misurazione provoca il *collasso* di uno stato di sovrapposizione in una singola realtà definita.



La moglie/suocera di Boring

## La magia dell'*entanglement* quantistico

Rappresentazione dell'*entanglement* quantistico

Il lettore che si sia spinto fin qui è bene che sappia che questo è il capitolo più importante dell'articolo, perché parleremo di un fenomeno del mondo quantistico che, pur avendo dei riscontri sperimentali inoppugnabili, avvolge di una patina quasi di magia il comportamento dei qubit. Erwin Schrodinger, uno dei grandi padri della quantistica, lo ha definito come **il tratto distintivo della meccanica quantistica**.

Partiamo dalla definizione: ***entanglement*** letteralmente significa *intreccio*, *groviglio* e rappresenta **una profonda connessione tra i qubit, che permette loro di comportarsi in modo**

***correlato***, anche a grandi distanze, come se fossero magicamente sincronizzati.

Precisiamo che questo fenomeno era noto già a metà degli anni '30 del secolo scorso e acclarato sperimentalmente, ma, come vedremo, solo oggi disponiamo delle tecnologie per sfruttarlo nella computazione quantistica.

In pratica, avviene che alcuni oggetti quantistici, ad es., delle particelle subatomiche, si comportano come se fossero un **sistema**, dotato di ferree **correlazioni** tra i suoi componenti: in altri termini, le proprietà di alcuni oggetti **determinano immediatamente** le proprietà di altri oggetti. Abbiamo visto prima che un oggetto quantistico assume un valore solo quando viene misurato. Pensiamo ora non ad un singolo oggetto, ma a più oggetti correlati: quando uno di questi oggetti sarà soggetto a misurazione, assumerà un valore e, **automaticamente**, anche gli oggetti correlati assumeranno il valore determinato dalle regole interne a quello che abbiamo definito *sistema quantistico*. Tutto qui, direte voi? Sì, ma forse vi è sfuggito che questa **valorizzazione** degli oggetti correlati avviene **istantaneamente**, **indipendentemente dalla distanza che intercorre tra gli oggetti correlati**. Per essere ancora più precisi, l'informazione sul valore che l'oggetto correlato deve assumere **non viene trasmessa, ma viene acquisita istantaneamente**. Capite ora perché l'*entanglement* è *magico*? Se l'informazione fosse trasmessa, anche alla velocità della luce, a cavallo di fotoni, se l'oggetto 1 fosse ubicato a Roma e l'oggetto 2 a New York, la correlazione avrebbe bisogno di un certo tempo per materializzarsi; invece, come vari esperimenti hanno dimostrato, l'*entanglement* manifesta i suoi effetti *istantaneamente*, ignorando qualsiasi ostacolo si possa frapporre nello spazio-tempo.

## il paradosso EPR e la legittimazione scientifica

Questo fenomeno è così controintuitivo che, quando, circa un secolo fa, cominciarono a manifestarsi le prime evidenze sperimentali dell'*entanglement*, sconvolse gli stessi protagonisti della rivoluzione quantistica, perfino coloro che avevano maggiormente contribuito alla

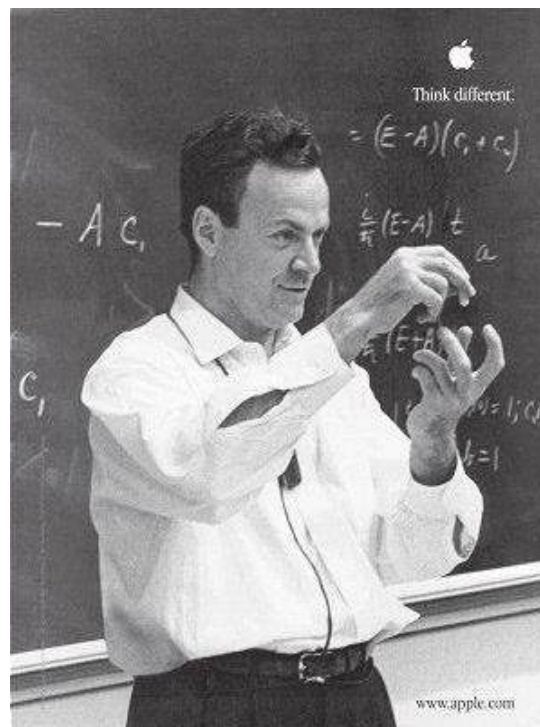
sua scoperta. Schrodinger fu affascinato, ma anche turbato dalle implicazioni concettuali del fenomeno, e riguardo all'*entanglement* scrisse: "Non mi piace, e sono spiacente di aver avuto a che fare con questo". Einstein, che, come visto sopra, fu uno dei più accaniti oppositori dei risultati della ricerca quantistica (ancorché fruitore della stessa in vari campi), addirittura propose nel 1935, insieme a Podolski e Rosen, un *esperimento mentale* per dimostrare che la meccanica quantistica conduceva a conclusioni assurde. Tale esperimento, noto come *paradosso EPR* (dalle iniziali dei proponenti), tendeva ad evidenziare alcune debolezze logiche della teoria quantistica, pur non confutando le evidenze sperimentali. Einstein la percepiva come *incompleta*, come una strada che offriva risposte pratiche (e questo lui lo aveva constatato personalmente), ma che non rivelava le verità *ultime* dell'universo. Purtroppo non possiamo entrare nel merito del paradosso, ma ci limiteremo a dire che questa controversia durò per decenni e vide schierati dalla parte della teoria quantistica Bohr, Heisenberg e altri sostenitori dell'*ortodossia* quantistica, mentre dall'altra i principali attori furono Einstein e lo stesso Schrodinger, che non si rassegnavano a rinunciare ad una visione deterministica del mondo. Tale dibattito di filosofia della scienza ha segnato una delle più affascinanti battaglie intellettuali nella storia della fisica, spingendo le menti più brillanti a esplorare i confini del reale e a interrogarsi sul significato profondo della natura.

Addirittura solo nel 1964 fu posta una pietra tombale sulla parte scientifica della controversia, grazie al fisico irlandese John Bell, che fu l'ideatore delle cosiddette *disuguaglianze di Bell*, che permisero di valutare l'aderenza dei sistemi atomici al cosiddetto *principio di realtà* (ritenuto inviolabile prima dell'avvento della quantistica).

Le disuguaglianze di Bell costituirono una specie di cartina al tornasole del mondo quantistico e scatenarono una serie di esperimenti nei laboratori di tutto il mondo: ad esempio, Alain Aspect, insieme ad altri due scienziati, nel 1981 condusse degli esperimenti decisivi sulla base delle regole di Bell, che lo portarono (ma solo nel 2022!) ad essere insignito del premio Nobel per la

fisica. I risultati di Aspect hanno avuto, nel corso degli anni, moltissime conferme sperimentali in tutto il mondo, che hanno portato alla conclusione che **la visione deterministica di Einstein è stata smentita**. Gli esperimenti hanno risolto la disputa tra il principio di realtà e la meccanica quantistica, **decretando la vittoria di quest'ultima**.

## Feynman concepisce il computer quantistico



**Richard Feynman**

Chi può attribuirsi il merito di aver concepito l'idea di un computer quantistico? Un'idea che appare anche oggi straordinariamente innovativa e ardita poteva essere formulata solo da una mente *visionaria*, che andava oltre le possibilità contingenti della sua epoca. E infatti questo primato va attribuito a Richard Feynman, uno dei più brillanti fisici del ventesimo secolo, che lanciò l'idea della costruzione di un computer quantistico addirittura nel 1981. La sua idea nasceva dalla necessità di simulare con dei modelli digitali i sistemi quantistici: se tali sistemi esibiscono un comportamento estremamente complesso, perché cercare di simularli con i computer classici? Non sarebbe stato meglio utilizzare delle macchine che obbedissero alle stesse regole dei sistemi che devono simulare? Un computer quantistico, appunto.

L'idea fu accolta con grande scetticismo dalla comunità scientifica, che la bollò come irrimediabilmente utopistica e ne colse solo l'irrealizzabilità contingente, ma non la geniale intuizione. Oggi non abbiamo ancora veri computer quantistici, ma la corsa verso la loro realizzazione è ormai inarrestabile e, soprattutto, l'idea si è rivelata vincente nell'attuale contesto tecnologico-scientifico.

Per mantenere i piedi ben piantati a terra, è bene ribadire che qualsiasi computer deve funzionare su base algoritmica. Un algoritmo è una procedura, costituita da un numero *finito* di istruzioni, deputata alla risoluzione di uno *specifico* problema. La matematica (teorema di Gödel e sue implicazioni) ci dice che non tutti i problemi formulabili in termini procedurali possono avere una risoluzione e alcuni vengono classificati come *indecidibili*, indipendentemente dalla scelta di sottoporli ad un computer classico o ad uno quantistico. In altre parole, un calcolatore quantistico non può risolvere un problema teoricamente irrisolvibile da un calcolatore classico. Ma i calcolatori quantistici possono risolvere alcuni problemi molto più velocemente, utilizzando meno risorse in termini di memoria, tempo di calcolo ed energia. È bene precisare che alcuni problemi, teoricamente alla portata di un computer classico, sono *de facto* irrisolvibili perché i tempi di elaborazione sono enormi (anche anni...), mentre un computer quantistico potrebbe risolverli in tempi estremamente rapidi.

## Il parallelismo quantistico

Addentrando nel mondo dell'elaborazione quantistica, diremo subito che il maggiore punto di forza di questo approccio computazionale è il cosiddetto **parallelismo quantistico**. Proviamo a spiegarlo in termini semplici: il bit classico può assumere solo due stati (0 o 1), mentre il qubit può invece trovarsi in uno stato di *sovrapposizione* dei due stati (un punto qualsiasi della superficie del mappamondo di cui sopra). Con una sola unità di elaborazione un bit classico può processare un solo stato di input per volta, mentre un qubit ne può trattare due contemporaneamente; all'aumentare del numero di bit e qubit, questa

capacità elaborativa si sposta enormemente a vantaggio dei qubit, permettendoci di elaborare un gran numero di stati di input. Per la precisione questa crescita è **esponenziale**.

Se anche volessimo ricorrere al parallelismo elaborativo di un computer classico, al crescere della complessità dei problemi, avremmo bisogno di un tale numero di unità di elaborazione parallele da rendere di fatto ingestibile il carico elaborativo. Invece, nel calcolo quantistico, ad un modesto aumento dei qubit a disposizione, corrisponde un enorme salto nella capacità elaborativa.

Giusto a titolo esemplificativo, un computer quantistico potrebbe risolvere in tempi rapidissimi il problema conosciuto in letteratura come *il faraone e il maestro di scacchi*: secondo la leggenda, il maestro che insegnò al faraone a giocare a scacchi, chiese come ricompensa un chicco di grano sulla prima casella della scacchiera, due sulla seconda, quattro sulla terza e così via, raddoppiando il numero dei chicchi su ogni casella. Il faraone, convinto che la richiesta fosse modesta, accettò, ma presto si rese conto che nemmeno tutto il raccolto del suo regno per molti anni sarebbe stato sufficiente. Infatti, per soddisfare tale richiesta, avrebbe dovuto consegnare dieci miliardi di miliardi di chicchi di grano solo per l'ultima casella!

Analogamente, un calcolatore quantistico con 64 qubit potrebbe eseguire simultaneamente un calcolo per un numero di stati di input uguale al numero di chicchi di grano che il faraone avrebbe dovuto consegnare al suo maestro di scacchi. Sfruttando il parallelismo quantistico, tale computer potrebbe risolvere in pochi secondi problemi che oggi richiederebbero ai più potenti supercomputer tempi superiori all'età dell'universo.

## Calcoli e porte logiche

### Logica nei computer tradizionali

Passo dopo passo, stiamo cercando di scoprire le peculiarità del calcolo quantistico, e riteniamo che un buon modo per renderne più accessibile la comprensione è quello di procedere per analogia con i computer tradizionali. Ad esempio, come

vengono realizzati i calcoli in un computer *bit-oriented* e come è possibile che un unico hardware possa elaborare migliaia di algoritmi che coprono i campi più disparati? Per i più esperti è un'ovvietà, ma chi non è proprio addentro alle faccende dei bit forse si stupirà del fatto che calcoli di straordinaria complessità vengano eseguiti con dei circuiti logici elementari a prima vista banali: questi circuiti vengono chiamati *porte logiche*.

Tra le porte logiche più elementari si annoverano quelle denominate NOT, COPY e AND: la NOT riceve in ingresso un bit e restituisce il bit opposto (0->1 1->0); la COPY restituisce lo stesso bit di input, mentre la AND restituisce i seguenti risultati a fronte di due bit di input: 1 se entrambi i bit di input sono pari a 1, 0 in tutti gli altri casi.

Bene, è dimostrabile che, con una combinazione di questi soli tre tipi di porte, si possono realizzare *tutti* i tipi di calcolo. In pratica, è come costruire un castello con sole tre tipologie di mattoncini *Lego*.

Come si implementano queste porte logiche sui computer attuali? Attraverso il semplice, ma efficacissimo meccanismo del *corrente sì, corrente no*.

Se all'ingresso o all'uscita del circuito c'è passaggio di corrente ho un bit che vale 1, altrimenti vale 0. Questo meccanismo viene assicurato in modo estremamente affidabile da un componente elettronico semplice ma potentissimo: il **transistor**. La combinazione di un incredibile numero di transistor permette di implementare qualsiasi incastro di porte logiche.

Pensate che (potenza della miniaturizzazione) un singolo microprocessore può contenere oltre un miliardo di transistor e, di conseguenza, effettuare combinazioni estremamente complesse di porte logiche. Ma, proprio per la natura del calcolo binario classico, dove ogni bit può assumere uno e *un solo* valore (0/1), se vogliamo aumentare la complessità dell'elaborazione mantenendo tempi accettabili, dobbiamo aumentare il numero dei transistor e la memoria dei nostri computer, e sappiamo che, di fronte a certi algoritmi, anche i cosiddetti *supercomputer* devono issare bandiera bianca. È qui che potrebbe venirci in soccorso la computazione quantistica.

## Logica della computazione quantistica

Da un punto di vista architetturale, non cambia moltissimo nel modo di organizzare i calcoli nel mondo quantistico; ma vedremo che questa *parentela* è solo apparente. Proprio come in un computer classico, anche in un computer quantistico un calcolo può essere scomposto in una sequenza di porte logiche elementari: la differenza (e scusate se è poco) è che queste porte non agiscono su semplici bit, ma su *qubit*, e possono intervenire su uno o due qubit alla volta. La vera rivoluzione risiede nella *natura* delle porte logiche quantistiche: mentre una porta classica può solo scambiare lo stato tra 0 e 1, una porta logica quantistica ha il potere di portare un qubit in uno **stato di sovrapposizione di 0 e 1**, aprendo un intero universo di possibilità. Questa flessibilità è ciò che rende il calcolo quantistico così straordinario e potente. Nel mondo dei qubit la porta logica fondamentale è chiamata CNOT (o "Controlled NOT") e coinvolge due qubit: il primo è un qubit *di controllo* che, in pratica, stabilisce il comportamento del secondo, cambiandone lo stato se assume valore 1, lasciandolo inalterato se assume valore 0. La sua grande potenza è quella di creare *entanglement* tra i due qubit: in pratica, i due qubit, che partono come due entità *separate*, passando dalla porta CNOT diventano *entangled*, cioè non possono essere descritti indipendentemente l'uno dall'altro, in quanto il valore di uno *decide* istantaneamente il valore dell'altro. Alla porta CNOT, quindi, è demandata l'implementazione logica della sovrapposizione e dell'*entanglement*, le due caratteristiche che rendono così potente il calcolo quantistico.

A questo livello aggiungeremo solo come si sta lavorando al problema dell'*output*: ai lettori più attenti non sarà sfuggita la circostanza che le fasi elaborative propriamente dette del calcolo quantistico **non sfruttano dei valori misurati**, ma si affidano ai valori *potenziali* che il qubit potrebbe assumere in fase di misurazione con una certa probabilità. Ma quando **misuriamo** i valori dei qubit per ottenere l'*output* obiettivo del nostro calcolo, non possiamo certo accontentarci di potenzialità, ma abbiamo bisogno di **certezze**. Anche su questo versante si sta lavorando alacremente affinché l'*output* restituisca dei valori

praticamente certi. In che modo? Si stanno sperimentando vari algoritmi, ma che sostanzialmente sono tutti basati sulla **ripetizione** del calcolo, in modo tale che **converga** il più rapidamente possibile verso valori la cui probabilità è praticamente 1.

## Algoritmi quantistici

Con questo termine si indicano quegli algoritmi che sfruttano la logica quantistica per risolvere un problema suscettibile di una soluzione *procedurale*, cioè che sia realizzabile in un numero finito di passi. Ci sono problemi che possono essere banalmente formulabili con un algoritmo *classico*, ma che, affidati ad un elaboratore elettronico tradizionale, anche super potente, si rivelano praticamente irrealizzabili per i tempi biblici che richiederebbe la loro elaborazione. È a questo tipo di problemi complessi che si rivolge l'attenzione dei ricercatori e delle imprese, affinché attraverso il ricorso alla logica quantistica diventino abordabili, sfatando tabù che resistono ai secoli.

### La fattorizzazione degli interi e l'algoritmo di Shor

Sono tanti e tutti stimolanti i problemi alla cui risoluzione quantistica si sta lavorando, ma qui ci limiteremo per motivi di spazio a quello ritenuto più strategico, perché, come vedremo, ha dei risvolti che potrebbero assumere contorni rivoluzionari: parliamo della **fattorizzazione dei numeri interi**. Il problema di scomporre un numero nei suoi *fattori primi* ha tormentato da secoli la comunità matematica, in quanto non si è mai riusciti a proceduralizzare in modo soddisfacente il problema. L'aspetto più beffardo della questione è che neanche i computer sono riusciti a risolvere *in modo generalizzato* il problema, in quanto anche il miglior algoritmo disponibile oggi per fattorizzare grandi numeri richiede un numero di operazioni che cresce **esponenzialmente** con il numero di cifre. Pensate che solo nel 2020 è stata realizzata la fattorizzazione di un numero di 250 cifre (pari a 829 bit), utilizzando un numero pazzesco di processori, corrispondenti all'uso di un singolo processore (all'attuale stato dell'arte) **per 2700 anni**. E se volessimo fattorizzare un numero di 300

cifre? Teoricamente avremmo bisogno, con le attuali risorse di calcolo *al top*, di oltre **un milione di anni**; in pratica, è un problema **irrisolvibile**.

Questa barriera insormontabile, dall'essere un limite frustrante per la comunità scientifica, nella nostra società della comunicazione è diventata una **risorsa** fondamentale per la protezione crittografica dei nostri dati. In pratica, il sistema di codifica delle nostre comunicazioni è basato su criteri di sicurezza che sono riconducibili alla pratica impossibilità di fattorizzare grandi numeri primi con le risorse di calcolo attuali.

Da quando Feynman lanciò l'avveniristica idea del computer quantistico, gli sforzi di molti scienziati si sono concentrati sul tentativo di formulare nuovi algoritmi su vecchi problemi, usando l'arma della logica quantistica. Il risultato più sorprendente lo ottenne nel 1994, ben 13 anni dopo la *provocazione* di Feynman, il matematico Peter Shor, che pubblicò un algoritmo, eseguibile su un *ipotetico* computer quantistico, rivolto alla risoluzione del problema della fattorizzazione dei numeri interi. Questo algoritmo, che oggi assume le sembianze di una bomba che potrebbe esplodere quanto prima, ha ricevuto il giusto riconoscimento scientifico solo nel 2022, quando a Shor, insieme ad altri tre pionieri dell'informazione quantistica, è stato attribuito il prestigioso *Breakthrough Prize* per la fisica. Sarebbe troppo complesso entrare nel merito dell'algoritmo di Shor, per cui ci limiteremo all'essenziale per sottolineare le straordinarie potenzialità del calcolo quantistico.

Il nocciolo dell'algoritmo consiste nel ricondurre il problema della fattorizzazione alla ricerca del *periodo*  $r$  di una funzione periodica: una volta individuato tale periodo, la fattorizzazione di un qualunque numero intero è risolvibile velocemente con un normale elaboratore classico.

La genialità di Shor fu non solo quella di formulare la fattorizzazione degli interi in termini di una funzione periodica, ma soprattutto quella di dimostrare che, sfruttando il parallelismo quantistico, e quindi valutando simultaneamente la funzione per un gran numero di input, l'efficienza dell'algoritmo ne permette una rapida convergenza.

Vedremo a breve quali sono gli ostacoli che oggi ancora si frappongono alla realizzazione di un computer quantistico affidabile, ma quello che qui ci interessa evidenziare è che un tale elaboratore, dotato di qualche migliaio di qubit, **potrebbe infrangere i codici crittografici** attualmente in uso, che si basano tutti sulla difficoltà della fattorizzazione.

Ma tra poco vedremo come le tecnologie quantistiche hanno in serbo delle soluzioni alternative e ultrasicure per la protezione delle informazioni riservate. In altri termini, è come se il calcolo quantistico, da *killer* della vecchia *cyber security* si trasformasse in protagonista di una nuova era di comunicazioni superprotette.

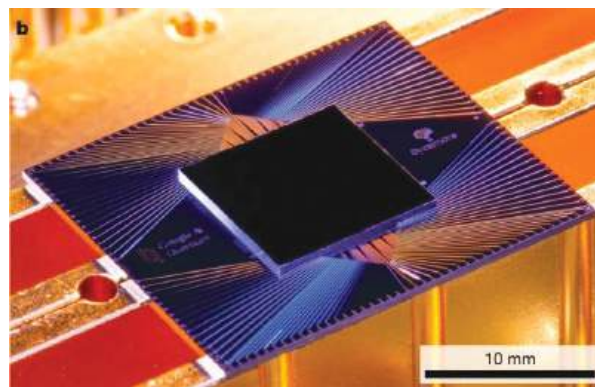
### Le ricerche sui dati non strutturati e l'algoritmo di Grover

Per chiudere questa affascinante parentesi sugli algoritmi quantistici, accenneremo soltanto ad un altro algoritmo che si candida a risolvere un altro problema irto di difficoltà per i computer tradizionali: la ricerca su grandi insiemi di **dati destrutturati**. Oggi abbiamo la necessità di processare e di interrogare quantità enormi di dati di provenienza eterogenea; è vero che disponiamo di *databases* con sofisticatissimi meccanismi di ricerca, ma le cose cambiano radicalmente quando i dati non hanno una qualsiasi forma di strutturazione e ordinamento: in questo caso i tempi di ricerca aumentano notevolmente con le dimensioni della base dati, fino a diventare assolutamente proibitivi. Si tratta di un problema cruciale nell'epoca dei *big data*, nell'epoca in cui, giusto per dare un'idea degli ordini di grandezza del fenomeno, ogni giorno si stima che venga generato uno **zettabyte di dati**, l'equivalente di 1 seguito da 21 zeri!

Anche in questo caso potrebbe venirci in soccorso il calcolo quantistico: nel 1996 l'informatico indiano Lov Kumar Grover concepì un geniale algoritmo che permette di trovare un elemento specifico all'interno di un set di dati privo di qualsiasi struttura organizzata in un tempo estremamente ridotto, grazie all'ausilio del parallelismo quantistico. Il tempo di ricerca, con l'algoritmo di Grover, non è più proporzionale al numero di elementi nel *dataset*, ma alla sua radice

quadrata: per dare un'idea del potenziale risparmio, una ricerca media su un elenco di un milione di numeri telefonici richiederebbe solo 1000 secondi, contro gli attuali 12 giorni, e su un miliardo di numeri 8 ore, a fronte di circa 31 anni!

### L'hardware quantistico e la decoerenza



Il chip Sycamore di Google

Nei capitoli precedenti abbiamo provato a capire i principi alla base del calcolo quantistico e alcuni dei possibili vantaggi che potremmo acquisire con l'uso di computer quantistici. Abbiamo visto anche come tale approccio disponga di un formidabile apparato teorico e che la capacità di formulare algoritmi che assecondano le straordinarie potenzialità del parallelismo quantistico non può che accrescere i benefici computazionali dell'approccio quantistico. Ma, d'altro canto, avrete intuito che, se gli algoritmi di Shor e di Grover, dopo circa trent'anni dalla loro formulazione, funzionano solo sulla carta, abbiamo qualche problema a mettere in piedi dei computer quantistici, anche solo a livello prototipale.

A questo punto non possiamo eludere il cruciale argomento dell'**hardware quantistico**, che è l'ultimo ostacolo che si frappa tra le aspettative della comunità scientifica e la piena fruizione delle opportunità del calcolo quantistico.

La prima domanda che ci porremo è la seguente: come possiamo far uscire i nostri *qubit* dalla dimensione teorica per trasformarli in circuiti, in elettronica o, più in generale, in *tecnologia* concreta e, soprattutto, *funzionante*?

È bene ricordare che il qubit è un'entità *logica* e non abbiamo vincoli rispetto alle tecnologie che

potremmo utilizzare per renderlo linfa vitale di un ipotetico computer quantistico, quindi è possibile scegliere la tecnologia più idonea a implementarne le caratteristiche.

Addirittura possiamo ipotizzare computer quantistici basati su tecnologie diverse, qualora i benefici siano equivalenti.

L'ostacolo principale da affrontare nella progettazione di un hardware quantistico si chiama *decoerenza*: con questo termine si indicano le interferenze esterne che tendono a minare la stabilità e l'efficacia del calcolatore quantistico.

Considerando la delicatezza degli oggetti che costituiscono il cuore di un calcolatore quantistico, non è facile isolare completamente un dispositivo di questo genere da interferenze esterne, siano esse di natura elettromagnetica che termica.

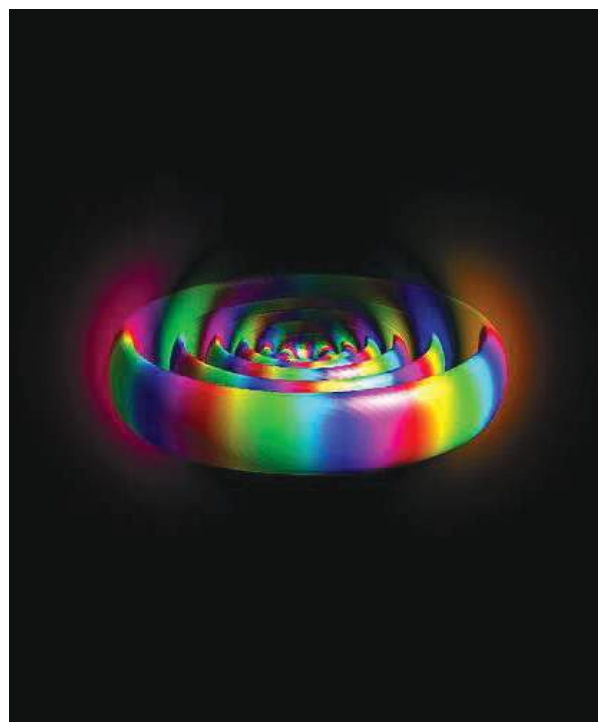
Raggiungere un elevato grado di isolamento di un sistema quantistico può avere dei costi molto elevati, ma, come è facilmente intuibile, è una conditio sine qua non per poter costruire dei sistemi computazionali affidabili.

Ciò premesso, è doveroso aggiungere che, qualunque sia la soluzione costruttiva, gli apparati che simulano il funzionamento dei qubit devono obbedire alle leggi della meccanica quantistica, e quindi parliamo sostanzialmente di sistemi atomici.

I laboratori di tutto il mondo stanno lavorando alacremente per mettere in piedi dei prototipi che implementino al meglio le funzioni dei qubit.

Vediamo le tre tecnologie ad oggi più sperimentate.

## Ioni intrappolati



Rappresentazione della funzione d'onda per l'atomo di idrogeno

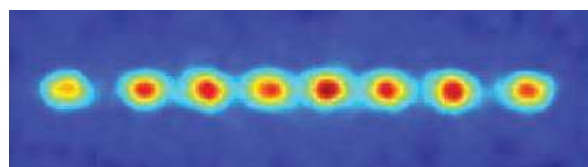
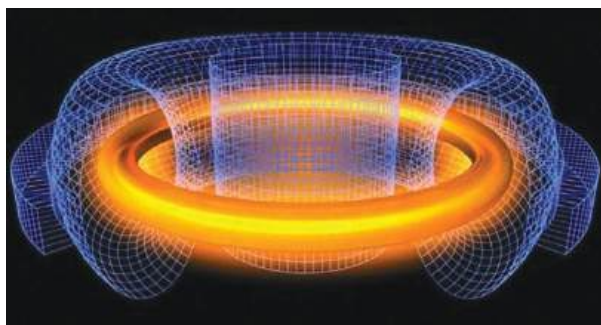


Immagine di fluorescenza di otto ioni intrappolati usati come qubit

Questa tecnologia utilizza degli *ioni*, cioè atomi elettricamente carichi, per simulare il comportamento dei qubit: questi ioni vengono *intrappolati* in regioni dello spazio dove si crea il vuoto e dove vengono raffreddati a temperature bassissime. Due livelli energetici di uno ione, corrispondenti a due orbite diverse di un elettrone, possono essere utilizzati per rappresentare i due stati 0 e 1 di un qubit. Questa è una delle tecnologie maggiormente sperimentate e sulla quale sono stati fatti notevoli progressi, ma ancora siamo lontani dalla possibilità di realizzare un computer degno di questo nome: basti pensare che gli attuali prototipi possono gestire poche decine di qubit ed eseguire alcune decine di operazioni logiche in sequenza, prima che intervenga la temuta decoerenza.

## Superconduttori



**Schema di magnete superconduttore**

Come è noto, i superconduttori sono degli speciali materiali che, al di sotto di una certa temperatura, permettono alla corrente elettrica di fluire senza incontrare alcuna resistenza. Questo straordinario fenomeno viene sfruttato in molte tecnologie, grazie al fatto che le correnti elettriche generano campi magnetici. Ad esempio, in Giappone e Cina tali campi vengono utilizzati nei treni a levitazione magnetica, dove i superconduttori raffreddati a temperature bassissime sollevano i convogli. La stessa tecnologia è utilizzata nelle macchine per Risonanza Magnetica Nucleare (RMN) di altissima precisione.

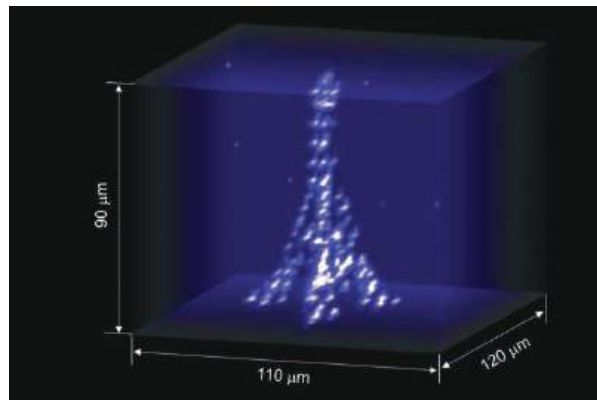
I computer quantistici sfruttano una singolare proprietà dei superconduttori: sotto la temperatura critica gli elettroni che costituiscono il flusso di corrente non fluiscono singolarmente, ma si uniscono a coppie (le cosiddette *coppie di Cooper*). In tal modo vengono creati dei circuiti che *simulano* delle strutture atomiche, per cui si parla di *atomi artificiali*, i quali permettono di creare sovrapposizioni di stati quantistici ed *entanglement*.

Ad oggi, questa tecnologia sembra essere un passo avanti rispetto agli ioni intrappolati. Google ha realizzato già anni fa il chip *Sycamore* a 53 qubit, e IBM ha messo a disposizione dei ricercatori un'infrastruttura per lo sviluppo di algoritmi e linguaggi di programmazione quantistici sui propri computer accessibili via *cloud* attraverso un'interfaccia web.

Attualmente il principale problema dei computer basati sui superconduttori è quello di mantenere i circuiti raffreddati sotto i valori di soglia della superconduttività, con conseguenti costi elevati. Ma questa tecnologia, su cui stanno fortemente

investendo giganti multinazionali, è quella che promette l'evoluzione più rapida nei prossimi anni.

## Atomi di Rydberg



**Atomi di Rydberg intrappolati in un reticolo ottico, che formano una struttura che ricorda la Tour Eiffel**

Si tratta di una tecnologia relativamente nuova, ma che sta guadagnando terreno tra gli sperimentatori del *quantum computing*. In questo caso i qubit sono realizzati con atomi neutri, ma i cui elettroni sono spinti su orbite molto lontane dal nucleo. Prendono il nome dal fisico svedese Johannes Rydberg, che studiò il comportamento degli atomi portati in stati di estrema eccitazione. Il loro interesse nell'ambito dei computer quantistici è legato al fatto che questo tipo di strutture atomiche sono molto *dilatate* e sono molto più facilmente manipolabili con gli strumenti a nostra disposizione. Per dare un'idea del fenomeno, pensiamo che un atomo ha delle dimensioni dell'ordine del *nanometro* (un milionesimo di millimetro), mentre la dimensione di un atomo di Rydberg è dell'ordine del *micron* (un millesimo di millimetro), cioè gli atomi diventano mille volte più grandi.

Questa tecnologia sta facendo dei progressi molto rapidi e potrebbe sorpassare le altre, la cui sperimentazione è partita molto prima. Al momento non ci sono prototipi di computer degli di nota, ma gli atomi di Rydberg sono molto utilizzati in diverse *simulazioni quantistiche*.

## Simulazioni quantistiche

Che cos'è un *simulatore quantistico*? Lo potremmo considerare una sorta di *computer quantistico dedicato*, cioè progettato per risolvere

un problema *specifico*. La complessità e le difficoltà nel mettere a punto un computer *universale*, in grado cioè di risolvere qualsiasi problema con gli opportuni algoritmi, lascia spazio all'idea di realizzare dei sistemi computazionali quantistici che *simulano* il comportamento di sistemi reali complessi. Naturalmente non è un'idea nuova, già oggi disponiamo di ottimi simulatori su piattaforme informatiche (ad es., simulatori di volo o di guida sportiva), ma la complessità dei sistemi reali, che richiedono la valutazione di un numero elevatissimo di variabili, impedisce *de facto* la realizzazione di simulatori attendibili in molti ambiti. Giusto per fare un paio di esempi, non riusciamo ad elaborare delle previsioni meteorologiche che vadano oltre una settimana circa, o il comportamento dei materiali sottoposti a determinate sollecitazioni. E l'elenco potrebbe continuare e sarebbe lungo. Oggi, quando le tecnologie e le finanze lo consentono, costruiamo dei simulatori, per così dire, *analogici*, come gallerie del vento o acceleratori di particelle, per studiare il comportamento di veicoli o di particelle subatomiche. Ma l'avvento della computazione quantistica, che sfrutta al meglio il parallelismo e la sovrapposizione, consente di estendere la progettazione di simulatori ad ambiti finora inaccessibili, come lo studio dei materiali superconduttivi, delle particelle elementari e del confine tra mondo classico e mondo quantistico, che presenta ancora molti lati oscuri. I campi di applicazione della simulazione quantistica sono potenzialmente enormi, e, in attesa dei supercomputer quantistici, la simulazione potrebbe regalarci straordinari risultati scientifici.

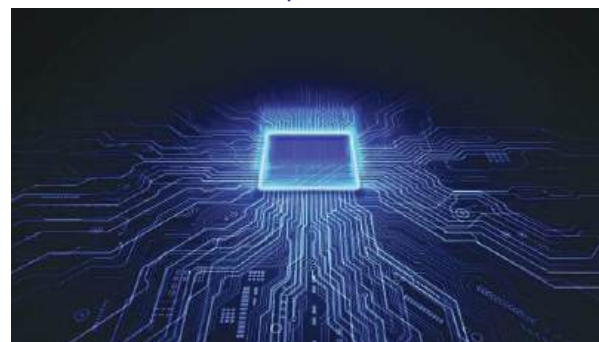
## Crittografia quantistica

Abbiamo sopra accennato al problema dei codici crittografici attuali, che potrebbero essere decifrati con l'avvento dei computer quantistici, causando un cataclisma nell'ambito della *cyber security*. Il problema è particolarmente sentito, in quanto i milioni e milioni di documenti segreti custoditi negli archivi digitali di Stati e organizzazioni rischierebbero una indesiderata divulgazione, qualora fosse disponibile l'elaborazione quantistica su scala industriale. Il problema è meno critico per la sicurezza delle

transazioni quotidiane soggette a protezione crittografica, in quanto *basterebbe (!)* cambiare, come vedremo, le tecniche di crittografia, per renderle nuovamente sicure. Ma che ne sarebbe dei documenti già prodotti la cui protezione è assolutamente indispensabile? Sarebbe possibile ri-assoggettarli a nuove tecniche crittografiche sicure? Alla fine le opzioni concrete sono solo due, *tertium non datur*: o i documenti si lasciano allo stato attuale (con rischio alto di *attaccabilità*) o si applicano delle nuove tecniche sicure di crittografia sicura. In effetti, già dal 2022 gli Stati Uniti si stanno attrezzando per proteggere l'immensa mole dei documenti federali da possibili attacchi *quantistici*, mettendo a punto il *Quantum Computing Cybersecurity Preparedness Act*, che dispone appunto la ricodifica di tutti i documenti sensibili, applicando tecniche sicure di crittografia. Questo megaprogetto diventerà esecutivo non appena il NIST (l'agenzia americana per gli standard tecnologici) avrà messo a punto gli opportuni algoritmi. Precisiamo che l'applicazione di nuove tecniche crittografiche sul patrimonio documentale esistente non è assimilabile alla crittografia quantistica (che presuppone altre forme di comunicazione), e può essere vista come una fase transitoria finalizzata alla protezione del patrimonio esistente.

Ma in cosa consiste questa crittografia quantistica e quali prerequisiti prevede la sua applicazione? Per provare a chiarire questo aspetto è necessario aprire una finestra sulle comunicazioni basate sui quanti.

## Comunicazioni quantistiche



Quando parliamo di comunicazioni, dobbiamo partire dalla semplice considerazione che oggi le comunicazioni immateriali, digitali o meno, viaggiano *tutte* su supporti classici, che seguono,

cioè, le leggi della meccanica e dell'elettromagnetismo classici; l'informazione trasmessa è riconducibile ad una serie di onde elettromagnetiche, che, obbedendo alla fisica classica, sono intrinsecamente deboli, in quanto teoricamente intercettabili e manipolabili, senza che il contenuto originario sia alterato: questo perché qualunque *misurazione* in ambito classico *non altera* l'oggetto della misura.

Ma che succede se facciamo viaggiare la nostra informazione tramite oggetti quantistici, entità atomiche o subatomiche che obbediscono alle leggi della meccanica quantistica? Avviene semplicemente che tale comunicazione è *intrinsecamente* sicura, in quanto qualunque tentativo (assimilabile ad un'operazione di *misura*) di intercettare i contenuti informativi *altera* i contenuti stessi ed è immediatamente rilevabile, vanificando l'attacco.

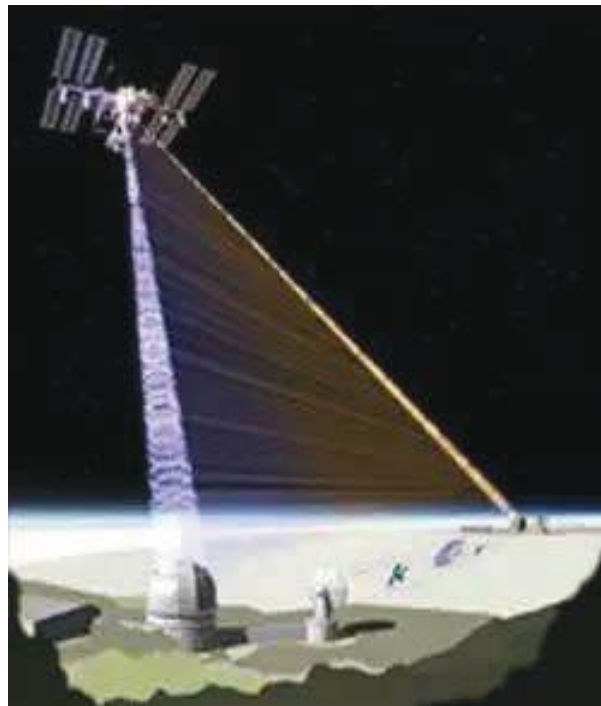
Oggi riusciamo a trasmettere la nostra informazione digitale attraverso i **fotoni**, le ben note particelle quantistiche che trasportano la luce, grazie alla loro capacità di assumere più stati, che possiamo assimilare ai valori 0 e 1, necessari per la codifica dell'informazione.

Ma su quale vettore possiamo far viaggiare i nostri fotoni e, soprattutto, quali distanze possiamo percorrere? Capite bene che questi due punti sono cruciali per rispondere alla domanda essenziale: è ipotizzabile in tempi ragionevoli una sostituzione delle attuali tecniche di comunicazione, basate su onde elettromagnetiche, con reti quantistiche che smistano l'informazione codificata su fotoni?

Diremo subito che la prima domanda ammette due risposte: *fibra ottica* e *spazio libero*. L'utilizzo della fibra ottica è sicuramente più economico, in quanto permetterebbe il riutilizzo delle infrastrutture attuali. Invece nello spazio libero la trasmissione richiede delle sorgenti di fotoni inviate a potenti telescopi che ne decodificano il contenuto informativo, o dei satelliti progettati specificamente con tecnologie quantistiche.

Le distanze attualmente percorribili tramite fibra ottica non superano qualche centinaio di chilometri, a causa delle impurità presenti anche nella fibra più pura e delle difficoltà di superare le

curvature dei cavi. Anche con dei ripetitori quantistici non si riesce a superare quest'ordine di grandezza.



**Satellite quantistico**

La trasmissione diretta su spazio libero ha una gittata ancora più limitata (poco più di 100 km), mentre i risultati migliori si ottengono con la comunicazione via satellite, che permette di superare i 1000 km. Oggi si lavora alla *combinazione* tra fibra ottica e satelliti, che consente di ottenere delle reti quantistiche integrate: in Cina alcune di queste reti sono già operative e consentono di coprire distanze fino a circa 5000 km. La Cina è attualmente all'avanguardia nello sviluppo di queste tecnologie, ma la percorribilità di questa soluzione è attestata anche dagli investimenti in atto in Europa, dove un consorzio di società, con il supporto dell'ESA (l'Agenzia Spaziale Europea) e della Commissione Europea, sta progettando un suo sistema satellitare per sviluppare una rete quantistica per la trasmissione sicura dei dati.

Inoltre, le sperimentazioni sulla creazione di una rete crittografica quantistica su scala globale risulteranno fondamentali anche per studiare gli effetti dei campi gravitazionali sull'*entanglement* e ottenere indicazioni sul legame, tuttora elusivo, tra gravitazione universale e meccanica quantistica.

## I sensori quantistici

In questa sezione ci occuperemo di come sia possibile realizzare dei sensori ultrasensibili attraverso le tecnologie quantistiche, e di come ciò potrebbe costituire un'autentica rivoluzione in alcuni ambiti.

Come è noto, i sensori non sono altro che degli *strumenti di misura* con cui si rilevano delle grandezze fisiche. Ciò avviene instaurando una sorta di *dialogo* tra lo strumento e l'oggetto misurato, e la misura è tanto più precisa quanto è più sensibile la modalità di acquisizione della grandezza d'interesse. In pratica, noi non misuriamo direttamente la grandezza, ma una variazione nello stato del sensore: decifrando nel modo più preciso possibile questo cambiamento, otteniamo l'informazione desiderata. Ad es., nella misurazione della temperatura, *leggiamo* su un termometro analogico la lunghezza di una colonna di mercurio o altro liquido, per determinare la concentrazione di ioni in una soluzione, sfruttiamo il fatto che gli ioni, essendo atomi o molecole con una carica, generano una corrente elettrica proporzionale alla loro concentrazione: misurando questa corrente, deduciamo la concentrazione ionica. Analogamente, i sensori a ultrasuoni calcolano la distanza di un oggetto cronometrando il tempo di ritorno degli echi sonori, mentre i sensori a infrarossi, comuni nei sistemi di sicurezza, rilevano la radiazione elettromagnetica emessa da corpi caldi come quello di un intruso, scattando solo quando la radiazione supera una certa soglia per evitare falsi allarmi. Tutti questi esempi sfruttano delle macro proprietà che ricadono nell'ambito della fisica classica.

Ma già a partire dalla fine del secolo scorso diversi ricercatori hanno teorizzato e sperimentato in laboratorio dei sensori che obbediscono alle leggi della meccanica quantistica, valutando le trasformazioni che la meccanica quantistica introduce nei processi di interazione e misurazione, e apprezzando le possibilità di elevarne le prestazioni e l'efficacia.

Una volta individuate le grandezze che un sensore quantistico può rilevare, la sua trasposizione pratica in strumento di misura solitamente non è

un problema, in quanto non dobbiamo affrontare le complessità architetture di un computer, ma, addirittura, se parliamo di **sensori a singolo qubit**, abbiamo a che fare con oggetti elementari, la cui potenza consiste nella capacità di *preparare sovrapposizioni di stati*, senza necessariamente utilizzare l'*entanglement*, che, invece, come abbiamo visto, è un ingrediente essenziale per il calcolo quantistico. Ad esempio, gli atomi sono dei formidabili rivelatori di campi magnetici, sia variabili che statici, in virtù della proprietà di assorbire ed emettere energia radiante *solo a frequenze specifiche*. Gli elettroni possono fare dei *salto quantici* prestabiliti da un livello di energia all'altro, e lo fanno solo quando ricevono l'energia *giusta* dall'onda elettromagnetica che li investe. Considerando che la formula di Planck lega l'energia alla frequenza, possiamo facilmente scoprire la presenza di radiazioni con una certa frequenza sulla base dei salti quantici dell'atomo usato come sensore. Analogamente, grazie all'*effetto Zeeman*, possiamo misurare l'intensità di un campo magnetico statico, sapendo che la frequenza alla quale l'atomo assorbe la radiazione dipende dall'*intensità* del campo magnetico stesso. Le misurazioni della frequenza di assorbimento avvengono tramite le cosiddette *oscillazioni di Rabi*, scoperte dal fisico Isidor Isaac Rabi, premio Nobel per la fisica nel 1944.

### Tecnologie per sensori quantistici

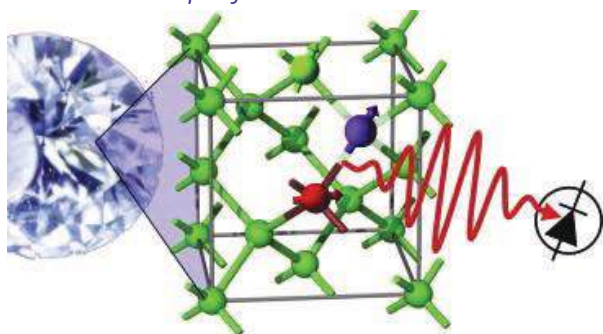
L'ambito dei sensori quantistici è molto vasto e abbraccia temi molto sensibili per la ricerca e l'industria. Qui ci limiteremo a sottolineare alcune straordinarie peculiarità della sensoristica quantistica, come la capacità di abbassare drasticamente gli errori di misura fino a portarli al loro *limite teorico* (il cosiddetto *Shot noise*). Dal punto di vista costruttivo, sarà interessante osservare che abbiamo sensori che si avvalgono di pochi atomi per fare il loro mestiere (sensori microscopici), ma abbiamo anche sensori macroscopici che, nonostante le loro dimensioni, mantengono proprietà quantistiche sorprendenti.

Tra i secondi citiamo i **sensori SQUID**, basati sulle sopra citate tecnologie basate sui superconduttori, che sono dei rivelatori di campi magnetici estremamente sensibili. Di più ridotta

dimensione, ma pur sempre annoverabili tra i *macroscopici*, sono i sensori denominati **condensati di Bose-Einstein**, che sono delle *nuvole* di decine di migliaia di atomi raffreddati ad una temperatura molto vicina allo zero assoluto (dell'ordine dei *nano Kelvin*) per mantenere le desiderate proprietà quantistiche; a queste temperature gli atomi *si sincronizzano* (si dice che *condensano*) su una stessa velocità e su uno stesso stato quantistico. Si usano per effettuare misurazioni sulla presenza di gravità nello spazio e per la rilevazione di campi magnetici.

I macro sensori, pur essendo molto più precisi dei sensori classici, non raggiungono la precisione di quelli a singolo o a pochi atomi, in quanto le loro dimensioni non consentono (o lo consentono con molte difficoltà) di introdurre l'*entanglement*.

### I diamanti imperfetti



**Reticolo cristallino di diamante con un centro di vacanza azoto (NV)**

Tra i *micro* sensori citeremo solo, per l'interesse che stanno suscitando, i cosiddetti sensori **a centri di colore dei diamanti**. Il loro utilizzo sfrutta un *difetto* rilevabile nella struttura di questi minerali: i diamanti naturali presentano una struttura cristallina di atomi di carbonio e appaiono trasparenti; ma è possibile trovare in natura anche **diamanti colorati**, a causa di eventi anomali occorsi in fase di formazione del diamante. In pratica, una piccola percentuale di atomi di carbonio è sostituita da *altri atomi*, che costituiscono il c.d. *centro di colore*, in quanto, mentre il carbonio non interagisce con la luce visibile, gli atomi *intrusi* possono farlo e, quindi, nel processo di assorbimento/riemissione della luce, *colorano* il diamante.

Ma la loro funzione di sensori è legata al fatto che l'atomo *di colore* è immerso in un ambiente inerte

e risulta più facile creare degli stati *entangled*. Ma le due proprietà che lo rendono estremamente interessante sono la capacità di comportarsi come oggetti quantistici anche **a temperatura ambiente**, e la possibilità di creare artificialmente dei *diamanti difettosi* da manipolare opportunamente. Tra i tanti possibili utilizzi dei sensori a centro di colore il più importante è costituito dal monitoraggio ultrasensibile di segnali biologici e molecolari, il cui utilizzo in ambito medico si sta rivelando molto promettente, in virtù della proprietà di essere praticamente *inerti* e quindi usabili in prossimità di tessuti biologici.

### Applicazioni dei sensori quantistici

Volendo fare una panoramica significativa (ancorché incompleta) delle potenziali applicazioni dei sensori quantistici, non possiamo non mettere in testa le applicazioni in campo medico, in quanto aprono la strada a nuove frontiere diagnostiche, terapeutiche e di monitoraggio, anticipando un futuro in cui la cura della salute potrà essere *personalizzata*.

I sensori basati sui difetti dei diamanti, oltre ad essere dei formidabili misuratori di temperatura e pressione, possono essere utilizzati per rilevare cambiamenti nel campo magnetico a livello molecolare, permettendo di mappare la struttura interna delle cellule viventi senza l'uso di radiazioni nocive.

Infine, la sensibilità dei sensori quantistici consente la rilevazione di biomarcatori specifici anche in concentrazioni minime, permettendo di identificare patologie, come i tumori nella fase iniziale. Potremmo assistere ad una rivoluzione nelle pratiche di *screening*, migliorando notevolmente le possibilità di guarigione attraverso interventi tempestivi.

Molto promettente (e in Gran Bretagna già in fase di sperimentazione) la possibilità di effettuare una *diagnostica cerebrale* con tecniche poco invasive e molto sensibili, rese possibili da sensori che monitorano l'attività cerebrale misurando i campi magnetici prodotti dalle correnti elettriche intracraniche. In prospettiva, si potrà analizzare l'attività cerebrale del paziente per un'intera giornata, come si fa con il monitor di Holter per le

patologie cardiache. Inoltre la capacità di rilevare segnali molecolari specifici potrebbe essere sfruttata per un dosaggio personalizzato dei farmaci, riducendo gli effetti collaterali e migliorando l'efficacia del trattamento.

Non possiamo infine non accennare alle straordinarie opportunità offerte dall'uso di sensori quantistici per **la misura della gravità**. Una misura accurata della gravità tramite sensori quantistici potrà portare a sistemi di navigazione e geolocalizzazione alternativi al GPS, che, oltre a non poter raggiungere certi livelli di precisione, non è disponibile in determinate aree (come sott'acqua o in ambienti urbani densi). I sensori quantistici promettono di portare sviluppi significativi per la navigazione sottomarina e i veicoli autonomi. La misura della gravità, in termini assoluti o relativi, consente anche la scoperta e il monitoraggio di giacimenti petroliferi e falde acquifere. Ad esempio, la misurazione delle variazioni di gravità intorno a un vulcano è importante perché fornisce indizi sulle variazioni di densità dei materiali sottostanti, come roccia, gas e magma. Un aumento della gravità potrebbe, ad es., suggerire l'afflusso di un materiale più denso come il magma. L'obiettivo ambizioso a lungo termine è quello di raccogliere dati sufficienti per prevedere le eruzioni.

## Conclusioni

Questo breve viaggio nel mondo dei computer quantistici termina qui, con la speranza di aver almeno acceso la curiosità del lettore su un argomento così sfaccettato e ricco anche di un corredo teorico importante, che, come abbiamo provato ad illustrare, le migliori tecnologie oggi disponibili stanno tentando di tradurre in realtà operativa.

Abbiamo provato a dare un'idea dello stato di avanzamento di questa grande sfida dell'ingegno umano e possiamo ipotizzare che nel prossimo decennio vedremo all'opera qualche *server* quantistico cimentarsi sui tanti problemi computazionali irrisolti, vedremo probabilmente un *boom* dei simulatori quantistici su specifici ambiti scientifici, e una proliferazione di sensori che ci aiuteranno a misurare grandezze nuove o a

raggiungere precisioni oggi inarrivabili nella valutazione di grandezze note.

È certo che non vedremo a breve dei personal computer quantistici, perché la sfida contro la *decoerenza* è solo agli inizi e non possiamo prevederne l'esito.

È altrettanto certo che la corsa alla computazione quantistica non mira alla *sostituzione* degli attuali sistemi di elaborazione, bensì al loro affiancamento, facendosi carico di problematiche che il *bit classico* non è in grado di affrontare. Dunque, l'obiettivo è la complementarità dei due mondi.

Sarà molto interessante seguire gli sviluppi del nuovo paradigma di comunicazione, che, come abbiamo visto, potrebbe rivoluzionare sia la velocità degli scambi informativi che, soprattutto, la sicurezza informatica, che potrebbe registrare una svolta decisiva.

Restano tanti altri interrogativi che, per motivi di spazio, non abbiamo potuto affrontare, e intendo lasciarvi con quello forse più intrigante: il rapporto tra computer quantistici e intelligenza artificiale. Questo cortocircuito potrebbe essere *esplosivo*, ricco com'è di straordinarie potenzialità ma anche di inquietanti punti di domanda: magari ne parliamo un'altra volta!

## Approfondimenti

a cura di Prof. Ing. Pietro Hiram Guzzi

# L'IMPORTANZA DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE NELLA FORMAZIONE DEGLI INGEGNERI

### 1. Introduzione

Negli ultimi anni l'intelligenza artificiale (IA) è diventata parte integrante della vita quotidiana: influenza i servizi digitali, la mobilità, la medicina e perfino la gestione delle infrastrutture.

Ciò che sorprende non è soltanto la rapidità della sua diffusione, ma la profondità del cambiamento che genera nel modo di pensare, progettare e decidere.

Parlare di IA nella formazione degli ingegneri, quindi, non significa aggiungere un nuovo insegnamento, ma ripensare in chiave moderna il ruolo stesso dell'ingegnere nella società.

Chi progetta il futuro deve sapere comprendere, utilizzare e governare queste tecnologie, valutandone implicazioni e limiti. Le università e gli ordini professionali sono chiamati a guidare questa transizione culturale, assicurando una formazione solida e responsabile.

### 2. Perché l'IA è ormai indispensabile

L'IA è uscita dai laboratori di informatica ed è diventata una risorsa trasversale, utile in quasi ogni campo dell'ingegneria.

Un ingegnere civile può usare modelli predittivi per stimare il degrado delle infrastrutture o i rischi idrogeologici; un ingegnere industriale può ottimizzare la produzione o pianificare la manutenzione con sistemi predittivi; un ingegnere biomedico può sviluppare strumenti diagnostici che apprendono dai dati clinici.

In tutti questi casi, l'IA non sostituisce l'ingegnere: ne potenzia la capacità analitica e progettuale. Tuttavia, chi non conosce i principi base di queste tecnologie rischia di restare escluso dai processi decisionali più innovativi.

### 3. Le competenze chiave

Non serve che ogni ingegnere diventi programmatore o teorico degli algoritmi. Ciò che conta è acquisire una cultura tecnica capace di coniugare competenza, consapevolezza e senso pratico.

Tre sono le competenze fondamentali:

1. **\*\*Comprensione dei dati.\*\*** I dati rappresentano la materia prima dell'IA: occorre saperli leggere, interpretare e valutare in modo critico.
2. **\*\*Conoscenza dei principi di base.\*\*** Capire la logica dei sistemi intelligenti permette di usarli in modo efficace e responsabile, anche senza crearli da zero.
3. **\*\*Consapevolezza etica.\*\*** L'ingegnere deve poter riconoscere i limiti di un sistema, comprendere quando un algoritmo può produrre errori o discriminazioni e valutare le implicazioni del suo impiego.

### 4. L'evoluzione delle facoltà di ingegneria

Le università stanno progressivamente adeguando i propri corsi a questa nuova realtà, seguendo tre linee principali.

La prima è **\*\*l'integrazione\*\*** dell'IA nei corsi tradizionali: esempi e strumenti intelligenti vengono introdotti all'interno delle discipline già consolidate. La seconda è **\*\*l'introduzione di insegnamenti specifici\*\***, dedicati a data science, analisi predittiva e sistemi intelligenti, pensati come competenze di base.

La terza è **\*\*la formazione esperienziale\*\***, basata su progetti, laboratori e collaborazioni con imprese o enti pubblici, per far sperimentare agli studenti l'uso concreto e critico dell'IA in contesti reali.

### 5. Ricadute sulla professione e sulla competitività

L'IA è riconosciuta da istituzioni come la Commissione Europea e l'OCSE come uno dei principali motori della crescita dei prossimi decenni. I Paesi che sapranno investire nella formazione di professionisti competenti in questo campo saranno anche quelli capaci di innovare e attrarre investimenti.

Per l'Italia, ciò significa sia preparare nuove generazioni di ingegneri in linea con le richieste del mercato globale, sia offrire programmi di aggiornamento continuo ai professionisti già attivi.

Una formazione adeguata consentirà inoltre di orientare lo sviluppo dell'IA verso obiettivi di pubblica utilità — qualità delle opere, sicurezza, sostenibilità — evitando derive puramente economiche.

### 6. Un approccio etico e responsabile

Con l'approvazione dell'AI Act, l'Unione Europea introduce una cornice giuridica che impone trasparenza, sicurezza e affidabilità nei sistemi basati su IA. Gli ingegneri avranno un ruolo di rilievo nella valutazione dei rischi e nella progettazione di soluzioni conformi a tali norme.

Diventa quindi indispensabile affrontare non solo gli aspetti tecnici, ma anche le implicazioni sociali ed etiche: tutela della privacy, correttezza delle decisioni automatizzate, equità dei sistemi.

L'ingegnere del futuro dovrà saper unire competenza tecnica, spirito critico e senso etico: una combinazione complessa, ma fondamentale per l'innovazione sostenibile.

### 7. Conclusioni

L'intelligenza artificiale rappresenta ormai un linguaggio comune dell'ingegneria contemporanea. Ignorarla significherebbe rinunciare a una parte essenziale del proprio futuro professionale. Le facoltà e gli ordini degli ingegneri hanno dunque

la responsabilità di accompagnare questa trasformazione, fornendo a studenti e professionisti strumenti adeguati per affrontare un mondo in cui l'IA sarà sempre più diffusa.

Investire nella formazione sull'IA vuol dire investire nella sicurezza delle infrastrutture, nella qualità delle opere pubbliche, nella competitività industriale e, in definitiva, nel progresso del Paese.

### **\*\*Bibliografia essenziale\*\***

1. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *\*Artificial Intelligence: A Modern Approach.\** Pearson.
2. European Commission (2024). *\*Artificial Intelligence Act – Regulation Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence.\**
3. OECD (2023). *\*Artificial Intelligence in Society.\** OECD Publishing.
4. World Economic Forum (2023). *\*The Future of Jobs Report.\**
5. National Academy of Engineering (2020). *\*Perspectives on Engineering Education in the Age of AI.\**

*Prof. Ing. Pietro Hiram Guzzi*

Docente di sistemi di elaborazione delle  
Informazioni

Università degli studi Magna Graecia di Catanzaro



## Approfondimenti

a cura di Ing. Caterina F. Dardano

# LE RADIAZIONI CHE MODIFICANO LA MATERIA: IL RADON E IL RUOLO DEI TECNICI DALLA PROGETTAZIONE AGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO

Esiste una componente terrestre della radioattività naturale alla quale siamo inevitabilmente esposti: alcuni elementi si trovano in misura variabile nei comparti acqua aria e suolo, compresi gli alimenti e lo stesso corpo umano. Questa componente costituisce il fondo naturale di radioattività ed è dovuta ai cosiddetti radionuclidi primordiali, radionuclidi della serie dell'uranio e del torio, nonché isotopi come il potassio-40 (K-40), presenti fin dalla formazione del pianeta nella crosta terrestre. In media, la popolazione mondiale è esposta infatti a un campo di radiazione naturale tra i 60-70 nGy/h<sup>1</sup>.

La componente "extraterrestre" della radioattività naturale deriva dai raggi cosmici e dai radionuclidi presenti in atmosfera, mentre la concentrazione di radionuclidi nel suolo e nelle rocce, invece, dipende strettamente dalle caratteristiche geologiche delle diverse aree.

Il radon deriva direttamente dalla Terra e dalla sua composizione: è l'unico "figlio" gassoso del dell'U-238 radioattivo che naturalmente esala dal suolo. Autorevoli studi scientifici stimano che il 40% della radioattività naturale deriva dai gas radon (Rn-222) e toron (Rn-220).

Il radon-222 è presente dunque naturalmente nell'aria esterna ma è altresì possibile trovare il radon negli ambienti indoor ove noi tutti trascorriamo gran parte del tempo.

Mentre il contributo alla dose da irraggiamento dovuta al radon in esterno possa ritenersi trascurabile per l'uomo, negli ambienti indoor, in determinate situazioni, per esempio in seguito ad interventi di coibentazione dell'involucro edilizio (posa cappotto) e interventi di sostituzione dei serramenti, opere legate all'efficientamento energetico, le concentrazioni medie di radon in aria indoor possono andare a incrementarsi.

Nonostante la sua inerzia chimica, il radon si trasforma nel tempo emettendo particelle alfa ( $\alpha$ ), generando una serie di prodotti solidi detti "figli", appartenenti alla serie dei metalli quali polonio,

piombo e bismuto. Sono proprio questi elementi i principali responsabili della pericolosità radiologica del radon, classificato dall'OMS come accertato cancerogeno per i polmoni. Per le concentrazioni di radon in aria non esiste una soglia di sicurezza, intesa come limite o dose soglia, al di sotto della quale l'esposizione sia innocua: i suoi effetti sono di tipo stocastico, cioè probabilistici e con alto periodo di latenza.

Negli ambienti indoor, durante la respirazione, la maggior parte del radon inalato viene espirata prima del suo decadimento ( $T_{1/2}$  = 3,82 giorni), mentre solo una piccola quantità penetra nei polmoni e nel sangue.

I suoi "discendenti" solidi, il polonio Po 218 e il bismuto Bi -214 invece si attaccano al particolato atmosferico (polveri, aerosol) e si depositano sulle pareti bronchiali, dove decadono in tempi brevissimi (microsecondi), irradiando i tessuti con particelle alfa ad alta energia. Ecco perché il radon è classificato come cancerogeno certo per l'uomo, e perché alta deve essere l'attenzione dei tecnici del comparto edilizio e degli specialisti in impianti rispetto a tale rischio.

Studi recenti, pubblicazioni scientifiche del gruppo di lavoro Radonorm, in fase di approvazione, stimano che oltre ai danni accertati e correlabili ai tessuti polmonari ci sia una relazione dose-risposta significativa per esposizione a radon indoor e radiazioni gamma non solo relativamente ai tessuti polmonari ma anche su altri tessuti/ organi. La pubblicazione predetta "Deliverable 3.4"<sup>2</sup> del progetto Rado-Norm 2025 conferma un possibile legame tra l'esposizione prolungata al radon domestico e alle radiazioni gamma naturali e l'aumento del rischio di leucemia infantile, con evidenze più deboli ma presenti anche per i tumori cerebrali e per le patologie di natura ischemica.

<sup>1</sup> Rapporto UNSCEAR2000

<sup>2</sup> Deliverable 3.4- radonorm.eu

Importante è dunque il ruolo dei tecnici con competenze in materia di edilizia per la prevenzione dal rischio radiologico da radon relativamente all'ingresso del radon negli ambienti indoor dal suolo nella scelta del sito specifico di intervento per le nuove costruzioni, nella progettazione dell'attacco a terra, nella progettazione degli impianti di climatizzazione/ventilazione ma anche relativamente alla scelta dei materiali da costruzione.

Non può essere tralasciato infatti il contributo dei materiali da costruzione. Dal rapporto ISTISAN 17/36, promosso sempre dal progetto RadoNorm, si evince che i materiali edili contribuiscono circa al 15-20% dell'esposizione totale al radon indoor. Le rocce ignee e i graniti, pregiate e molto apprezzate nell'edilizia residenziale come rivestimenti verticali e orizzontali, contengono generalmente quantità più elevate di uranio-238 (U-238) rispetto ad altre rocce di natura sedimentaria come calcare e gesso. I materiali da costruzione, cemento, mattoni, piastrelle<sup>3</sup> ecc, ottenuti dalla miscelazione di materie prime di origine naturale, o da residui contenenti NORM (naturally occurring radioactive materials) o TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials) a loro volta possono emettere radon, incrementando la dose da raggi gamma negli ambienti indoor, e sono soggetti alle prescrizioni di cui all'art 29 del D.Lgs n.101/2020 e ss.mm.e ii. Si noti che l'articolo in questione si applica solo ai materiali da costruzione immessi sul mercato, non a quelli già in opera o utilizzati prima dell'entrata in vigore del decreto. Nel dettaglio integra il Regolamento (UE) n. 305/2011 (Construction Products Regulation – CPR), che stabilisce le condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione. In particolare, il D.Lgs. n.101/2020 e ss.mm.e ii. aggiunge tra le caratteristiche essenziali da dichiarare nella Dichiarazione di Prestazione (DoP) in termini di emissione di raggi gamma o contribuire all'esposizione al radon dai materiali.

La conoscenza dei dati di radioattività dei materiali edili può dunque aiutare a prevedere le potenziali fonti di radon indoor, specialmente in aree con alta concentrazione di materiale già naturalmente radioattivo nel suolo o con concentrazioni improprie legate a particolari situazioni di esposizione esistente (caso Crotone)<sup>4</sup>.

Dal 2016 è noto<sup>5</sup> che l'impiego degli scarti fosfatici,

caratterizzati da un basso costo e da ottime caratteristiche meccaniche, come riempimento dei vespai nell'edilizia pubblica, ha notevolmente incrementato la concentrazione volumetrica di attività di radon negli ambienti indoor.

Il recente P.N.A.R. (D.P.C.M. 11/01/2024) in attuazione dell'art. 10 del D.Lgs. n.101/2020 e ss.mm. e ii definisce l'esposizione al radon come una condizione di "esposizione esistente" che richiede misure di controllo. Tali misure di controllo hanno inizio con la definizione dei Livelli di riferimento (LDR) del radon (espressi in Bq/m<sup>3</sup>) per le abitazioni e i luoghi di lavoro e con gli obblighi di valutazione e monitoraggio delle concentrazioni medie di radon in aria.

Molto utili ai tecnici che si avvicinano alla progettazione delle nuove costruzioni o agli interventi di ristrutturazione sono le mappature ufficiali basate sulle misure di radon indoor, ma ecco qui la prima nota dolente: la regione Calabria ad oggi è stata censita impropriamente dal punto di vista delle concentrazioni indoor di radon (campita cioè nell'ultima mappa ufficiale ISS del 2019 indicando concentrazioni irrilevanti tra 0 e 20Bq/mc): la mappa delle concentrazioni di radon nelle abitazioni al piano terra esistente nell'Atlante europeo della radiazione naturale<sup>6</sup> non copre il sud Italia a causa della carenza dei dati.<sup>7</sup>

Quindi il ruolo dei tecnici, ingegneri, architetti, geometri e periti edili, riveste una fondamentale rilevanza nella prevenzione del rischio radiologico da esposizione al radon. L'attenzione ad evitare l'ingresso e la concentrazione di radon indoor può, e deve, essere prestata sin dalle fasi della progettazione delle nuove costruzioni dell'edilizia pubblica, con particolare riferimento all'edilizia scolastica ove sono presenti soggetti ancora più sensibili al rischio, del settore sanitario e non il ultimo dell'edilizia privata.

<sup>3</sup> L'inventario della concentrazione di attività di radionuclidi naturali nei materiali da costruzione utilizzati nella unione europea: conclusioni radioprotezionistiche M.D'Alessandro<sup>1</sup>, C.Nuccetelli<sup>2</sup>, D.Paradiso<sup>1</sup>, S.Risica<sup>2</sup>, R.Trevisi<sup>1</sup>

<sup>4</sup> TENORM employed as inert material for house building: a model for evaluating the radon activity enhancement Nicolino A. et al. Environmental Science and Pollution Research (2022) 29:25020–25028

<sup>5</sup> S. Procopio, et. al La concentrazione di attività di radon in un'abitazione contaminata da Norm. Valutazione e stima del rischio, La chimica e l'Industria, Anno XCVIII N.4 - Luglio -Agosto 2016;

<sup>6</sup> (Cinelli et al., 2019; De Cort et al., 2011)

<sup>7</sup> Indoor radon measurements in Calabria (Southern Italy) S. Procopio G. Iovine 2022

Il Codice Appalti D.lgs. n. 36/2023 e ss.mm. e ii. impone alle stazioni appaltanti la verifica che la documentazione di gara sia conforme ai criteri ambientali minimi (CAM) cioè che, come disciplinato dall'art. 57 "dell'inserimento nella documentazione progettuale e di gara, almeno delle specifiche tecniche e delle clausole contrattuali contenute nei CRITERI AMBIENTALI MINIMI, definiti per specifiche categorie di appalti e concessioni, differenziati, ove tecnicamente opportuno, anche in base al valore dell'appalto o della concessione".

Il DECRETO 23 GIUGNO 2022 n. 256 dal titolo "Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi" così come corretto con il correttivo del 5 agosto 2024 prevede infatti al punto 2.4 SPECIFICHE TECNICHE PROGETTUALI PER GLI EDIFICI il rispetto delle concentrazioni volumetriche di radon nelle nuove costruzioni. Quanto specificato al punto 2.14 relativamente al "CRITERIO RADON" ripropone il rispetto dei LDR ampiamente illustrati nella parte iniziale del presente articolo ed enunciati dall'art. 12 del D.Lgs. n.101/2020 e ss.mm. e ii..

Dunque i progettisti dovranno già in fase di progettazione prevedere il monitoraggio del gas radon, per l'esistente e prevedere interventi mirati alla prevenzione dell'ingresso del radon dal sottosuolo e/o il suo allontanamento dall'edificio con gli interventi che gli esperti di risanamento radon attuano nel caso di superamento dei LDR in edifici esistenti. Riepilogando, oltre alle verifiche in fase di progettazione dei LDR di radon indoor imposte dal codice appalti e dai criteri CAM, resta comunque da monitorare il patrimonio edilizio esistente.

Gli interventi di coibentazione dell'involucro esterno sul patrimonio edilizio esistente possono comportare tra gli imprevisti, purtroppo prevedibili, l'incremento della concentrazione media di radon in aria negli ambienti di vita quotidiana e in quelli lavorativi o pubblici: è compito del tecnico progettista evitare tali incrementi studiando il sistema clima e di ventilazione meccanica più opportuna. Mentre sarà compito dell'"esperto in interventi di risanamento radon" (E.I.R.R.), che interviene dopo il superamento, progettare e dirigere in fase esecutiva l'intervento di risanamento utile a riportare le

concentrazioni a livelli accettabili, senza mai trascurare il principio ALARA.

Il D.Lgs. n. 101/2020 e ss.mm. e ii. ha stabilito il LDR per le abitazioni in 200 Bq/mc a far data dal 31/12/2024. Il livello di riferimento per i luoghi di lavoro è invece pari a 300 Bq/mc. Nonostante alcuni suoi membri della UE abbiano come livelli soglie molto più basse, tali livelli tengono conto del principio caro ai radioprotezionisti di ottimizzazione.

E' abbastanza ovvio che finora il monitoraggio annuale del gas, unica misura utile e veritiera per la conoscenza dei livelli di concentrazione di radon in aria, è avvenuto grazie alla sensibilità degli enti tecnici regionali, delle emanazioni del SSN sul territorio e dei comuni che hanno promosso campagne gratuite di monitoraggio a favore dei cittadini e dell'edilizia pubblica.

Attualmente, purtroppo nella nostra regione, effettuare un monitoraggio in ambito residenziale scaturisce solo dalla sensibilità dei cittadini che riconoscono nel radon un fattore di rischio per il tumore al polmone.

Diverso è per i luoghi di lavoro: l'obbligo di monitoraggio scaturisce dalla connessione esistente tra il testo unico per la sicurezza D.Lgs. n.81/2008 e ss.mm. e ii e le norme di radioprotezione: il titolo VI destinato agli agenti fisici nel caso di esposizione a sorgenti di radiazione ionizzante rimanda integralmente al dettato della norma di radioprotezione.

Ai sensi del dettato del D.Lgs. n. 101/2020 ss.mm. e ii., il datore di lavoro, la cui puntuale definizione è rintracciabile nell'art. 2 D.Lgs. n. 81/2008 ss.mm. e ii., è obbligato per i luoghi di lavoro ubicati ai piani interrati e in alcuni particolari ambiti dettagliati nel P.N.A.R. (stabilimenti termali, impianti di imbottigliamento, impianti di potabilizzazione) al monitoraggio del gas radon attraverso il posizionamento di rivelatori passivi -esposimetri- posizionati secondo le indicazioni dell'ALL. II del D.Lgs. n. 101/2020 e ss.mm. e ii..

Si rileva in questa sede che questo obbligo non collima con recenti pubblicazioni in cui il gas è stato trovato anche laddove la norma non suggerisce di misurare. Secondo pubblicazioni scientifiche autorevoli, è possibile affermare, che il gas radon può essere ritrovato in concentrazioni molto al di sopra di quelle di riferimento ai piani terra e superiori in funzione della distribuzione e dell'architettura

dell'edificio se multipiano<sup>8</sup>. E' il caso di un istituto scolastico in provincia di Cosenza in cui alunni e personale scolastico ( docente e non ) sono stati esposti fino all'intervento di risanamento eseguito grazie alla sensibilità dell'amministrazione comunale<sup>9</sup> a livelli elevatissimi molto oltre i LDR.

Al termine del periodo di monitoraggio, che la norma di radioprotezione impone debba essere annuale, al fine di evitare le fluttuazioni del gas legate alle variazioni termiche durante le diverse stagioni, i rivelatori andranno analizzati da opportuni laboratori accreditati come servizi di dosimetria ex art. 155 D.Lgs. n. 101/2020 ss.mm. e ii..

Ricevuta della relazione tecnica contenente i risultati del monitoraggio di gas radon il datore di lavoro dovrà attenersi al dettato dell'art. 17.

Se la concentrazione media di radon misurata non supera il livello di riferimento (300 Bq/mc) la relazione tecnica prodotta dal servizio di dosimetria sarà parte integrante del Documento di valutazione dei rischi (DVR) redatto ex art. 29 del D.Lgs. n. 81/2008 e ss.mm. e ii..

Se la concentrazione volumetrica di radon misurata dovesse superare il LDR il datore di lavoro dovrà attivare la procedura ex art. 17 c.3 D.Lgs. n. 101/2020 ss.mm. e ii..

Nel caso in cui la concentrazione media annua di attività di radon in aria superi il livello di 300 Bq/mc l'esercente è tenuto a porre in essere misure correttive intese a ridurre le concentrazioni al livello più basso ragionevolmente ottenibile tenendo conto dello stato delle conoscenze tecniche e dei fattori economici e sociali.

Le misure correttive sono attuate dal datore di lavoro attraverso l'incarico ad un tecnico specializzato "ESPERTO IN INTERVENTI RISANAMENTO RADON" (E.I.R.R.) che dovrà progettare e controllare l'esecuzione dell'intervento di risanamento più adatto alla situazione specifica.

Tale figura è di norma un tecnico, con specializzazione in edilizia e i requisiti formativi ben precisi che sono specificati nell'articolo 15 D.Lgs. n. 101/2020 ss.mm. e ii.. L'intervento andrà nel tempo sottoposto a nuovo monitoraggio, sempre annuale, per valutare l'efficacia delle misure, nei tempi e nei modi dettagliati dall'art. 17 D.Lgs. n. 101/2020 ss.mm. e ii..

Si noti che contestualmente all'incarico all'EIRR il datore di lavoro dovrà dare notizia ex art. 18 D.Lgs.

n. 101/2020 ss.mm. e ii. del superamento in termini di livello di riferimento agli enti competenti (Ministero, ARPA/APPA, SSN, INL).

In caso di esito negativo, laddove l'intervento di risanamento non fosse risolutivo, l'esercente a tutela del proprio personale dovrà incaricare un esperto di radioprotezione per la valutazione della dose ai lavoratori. Seguirà un utile approfondimento sugli interventi tecnici da attuare in fase di progettazione e sui possibili interventi di risanamento.

*Ing. CATERINA F. DARDANO*

Esperto Sicurezza Certing- EDR II GRADO- EIRR

STUDIO TECNICO DARDANO

Tesoriere MENORADON

<sup>8</sup> Azioni Di Rimedio Per La Mitigazione Del Gas Radon In Ambienti Di Vita Giustificati Da Principi Di Contabilità Ambientale- F.Casaburi, S. Procopio , VII Convegno Nazionale Agenti Fisici.

<sup>9</sup> La Riduzione della concentrazione di gas radon in un istituto della sila- G.Martire1, M.Iazzolino1., F.Martire1

## Approfondimenti

a cura di Ing. Pasquale Materrazzo

# LA CASSAFORTE DI INARCASSA

L'Inarcassa è uno degli istituti previdenziali che ha un patrimonio di tutto rispetto, a settembre 2025 il patrimonio ha superato i 17 miliardi di euro, gestendo le categorie tecniche che sono le uniche che nel tempo aumentano gli iscritti di oltre il 2% annuo.

In sostanza gli iscritti ad Inarcassa possono stare tranquilli che le loro pensioni sono al sicuro, la base pagante aumenta e non diminuisce, così come si verifica in tanti settori lavorativi.

Il patrimonio aumenta ogni anno che passa, non c'è nessun elemento che faccia pensare a stabilizzarsi, il che pone alcune domande sulla politica dell'istituto.

Il settore che voglio indagare è quello dei pensionati, cosa cambia per un ingegnere che va in pensione rispetto ai suoi obblighi nei confronti della cassa?

Il pensionato svolge un ruolo speciale, in quanto mantenendo l'iscrizione, assolve una funzione di volontariato contributivo per la categoria, ovvero continua a pagare.

Il problema posto è se continua a pagare come ogni altro iscritto o gode di qualche privilegio, purtroppo la risposta è che non gode di nessun privilegio e questo a partire dall'1.1.2021, anno in cui i privilegi seppur modesti furono cancellati.

Questa scelta sarebbe stata comprensibile se la cassa si trovasse in difficoltà economiche, oppure se gli iscritti invece di crescere diminuissero, invece tutto va a gonfie vele ed i privilegi vengono comunque cancellati.

Ma entriamo nel significato di privilegio, un ingegnere che va in pensione a 67/68 anni e decide di volere continuare a lavorare, spesso costretto dalle misere pensioni percepite, paga come un normale iscritto e per questi versamenti aggiuntivi ogni cinque anni deve chiedere appositamente l'aggiornamento della pensione.

In sostanza non bisogna essere esperti di statistica per immaginare quale sia la probabilità di morte aumentando gli anni, se poi si fissa il gradino in cinque anni, allora bisogna essere cattivi ed imma-

ginare che chi ha fatto questa norma spera in una morte sicura dopo quattro anni e undici mesi.

Ma non solo questo, l'aggiornamento bisogna richiederlo, non c'è automatismo, anche qui chi ha fatto la norma spera in una perdita di lucidità per continuare a pagare senza frutto.

Francamente non credo che la categoria possa essere bistrattata come fa Inarcassa i cui dirigenti nazionali hanno il merito di incrementare il patrimonio in maniera significativa ogni anno, ma viene naturale immaginare che profitti vadano divisi tra gli iscritti, altrimenti si accumula una ricchezza tale che un giorno il Governo del Paese ci metterà le mani, risolvendo qualche emergenza nazionale.

Viene da chiedersi chi erano i rappresentati provinciali degli ingegneri dal 2021 ad oggi all'Inarcassa e sapere oltre al gettone di presenza, oltre ai viaggi, ristorante e pernottamento a carico di Inarcassa quale attività svolgono a favore degli iscritti atteso che questo è lo stato delle cose.

Spesso il candidato da eleggere come rappresentante provinciale di categoria a Inarcassa non viene eletto per meriti, ma spesso per equilibri locali.

Alla luce di questa deprecabile prassi è auspicabile che i nostri futuri rappresentanti in seno ad Inarcassa vengano scelti in base a criteri di merito, competenza e capacità di dedicarsi con impegno in una funzione così delicata per tutti gli iscritti, rinunciando a doppi incarichi ed evitando le ripetizioni che chiudono alla categoria.

## SMR - il futuro prossimo

Il tema dell'energia, oggi più che mai, è oggetto del dibattito politico-economico.

Si cerca una strategia efficace nell'assicurare l'indipendenza e la sicurezza energetica, la riduzione dei costi e contribuire al contrasto del cambiamento climatico.

A fronte di una maggiore richiesta di energia nei settori di uso finale (*trasporti, industrie, aviazione, navigazione marittima, usi civili*), aumentano i costi dei prodotti petroliferi, del gas e dell'energia elettrica.

Volendo superare i modelli per lo più basati sulle fonti fossili, la ricerca si orienta su un nuovo paradigma costituito dalle fonti rinnovabili e da altre fonti energetiche.

La continuità degli approvvigionamenti, l'esigenza delle famiglie e delle imprese di avere a disposizione energia a prezzi convenienti rendono la trasformazione del sistema energetico una necessità indelegabile ed urgente.

A tale scopo, questo articolo divulgativo prende in considerazione una fra le tante soluzioni che il mondo della ricerca e dell'ingegneria sta sviluppando, proponendo un breve excursus sugli SMALL MODULAR REACTORS.

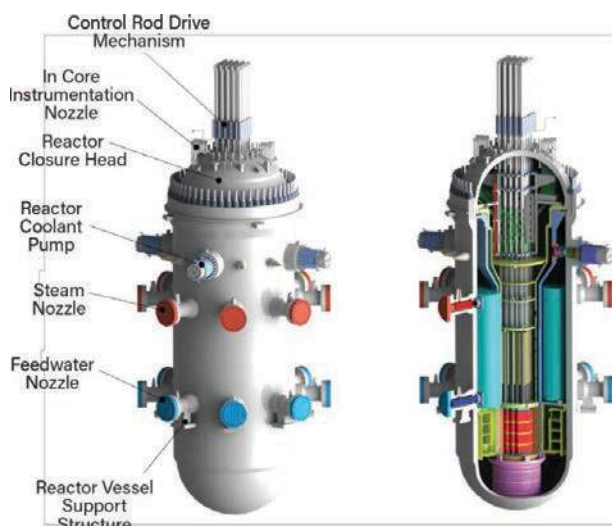


Fig. 1 - esempio di un reattore nucleare modulare

Con l'acronimo SMR (Small Modular Reactors) vengono indicate le centrali nucleari di dimensioni contenute e di potenza ridotta, capaci di fornire

energia ad un numero relativamente piccolo di utenti.

Gli SMR sono progettati per essere "confezionati" in fabbrica e trasportati nel sito di installazione come moduli prefabbricati, consentendo una costruzione semplificata, una maggiore scalabilità e una potenziale integrazione in configurazioni multi-unità.

Gli impianti hanno una potenza variabile da 5 a 500 MWe per unità, fornendo energia continua, utile quando la rete ha bisogno "di spalla" nelle ore senza sole e/o in assenza di vento.

I piccoli reattori modulari (SMR), in combinazione con fonti rinnovabili, possono dare un contributo importante al processo di decarbonizzazione e garantire una maggiore indipendenza rispetto alle tradizionali fonti fossili utilizzate per la produzione di energia.

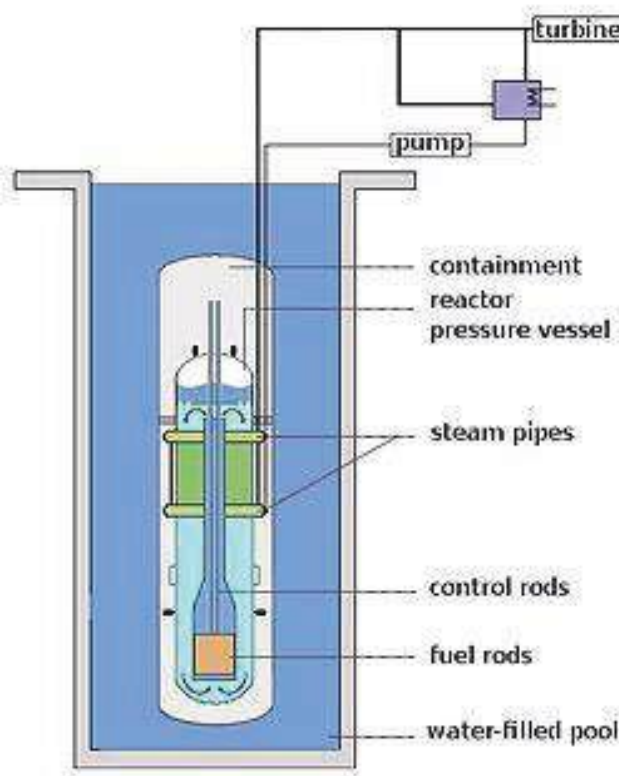


Fig. 2 - Schema di un modello di mini reattore nucleare con reattore ad acqua leggera, immerso in una piscina piena d'acqua. Sono indicate le barre di combustibile, le barre di controllo, i tubi di vapore, il reattore a pressione ed il vaso contenitore

Essi sfruttano la fissione nucleare per produrre calore da utilizzare direttamente o per generare energia elettrica.

Alcuni progetti propongono sistemi di raffreddamento basati solo sulla termoconvezione, quindi a circolazione naturale, per eliminare le pompe di raffreddamento soggette a rottura. La convezione inoltre può continuare a rimuovere il calore di decadimento dopo lo spegnimento del reattore.

A tale scopo, gli SMR utilizzano, a seconda dei casi, refrigeranti quali l'acqua leggera, metalli liquidi (*miscele eutettiche a base di sodio, piombo e piombo-bismio*), gas (*Elio*) o sali fusi.

L'altezza media di un SMR varia da 20 a 25 metri, con un diametro compreso tra i 3 ed i 5 metri mentre le pareti del contenitore hanno uno spessore di circa 200 millimetri.

Solo a titolo esemplificativo, volendo fare un semplice confronto dimensionale delle altezze, i binari di corsa per l'Alta Velocità della stazione ferroviaria di Bologna Centrale sono a circa 23 metri di profondità.

Ogni Modulo è costituito da un reattore, un generatore di vapore e un involucro di "contenimento" completamente integrati tra loro.

Il reattore riscalda acqua usando il calore generato dalla fissione nucleare. Il vapore prodotto fa girare una turbina che converte l'energia cinetica in elettricità.

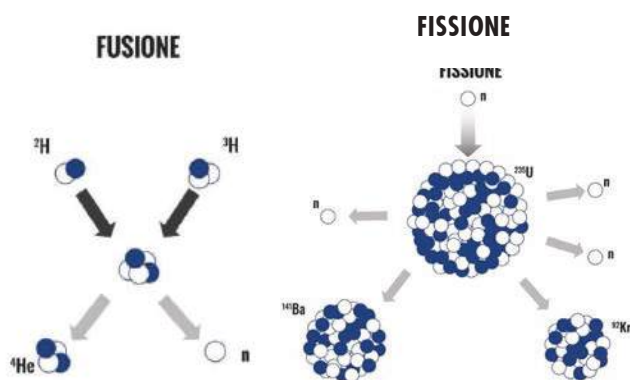


Fig. 3 - Nel processo di fissione, un atomo con un nucleo pesante si divide in nuclei più leggeri, La fusione consiste nell'unione di atomi leggeri per formare nuclei più pesanti

Nei reattori ad acqua in pressione (i più diffusi al mondo), il circuito "caldo" resta separato dalla turbina ed il calore passa ad un secondo circuito attraverso uno scambiatore. Un modulo SMR di piccola potenza, rispetto alla precedente tipologia di impianto, risulta straordinariamente sicuro

perché basato sulla collaudata tecnologia dei reattori raffreddati ad acqua pressurizzata. Come si vede si tratta dello stesso principio fisico che muove le grandi centrali.

Nel caso degli SMR cambiano le dimensioni, la filosofia costruttiva ed alcune scelte relative alla sicurezza.



Fig. 4 – torri di raffreddamento di impianti nucleari tradizionali.

Le principali caratteristiche distintive di questi piccoli reattori (SMR) sono la potenza ridotta e la costruzione modulare; queste rispondono all'esigenza di maggiore flessibilità garantendo, nel contempo, certezza di budget e puntualità di realizzazione.

Inoltre, offrono importanti opportunità quali la capacità di fornire energia elettrica a singoli quartieri o ad intere città, consentono l'abbandono delle fonti fossili, ed esprimono una possibile soluzione per la "transizione energetica".

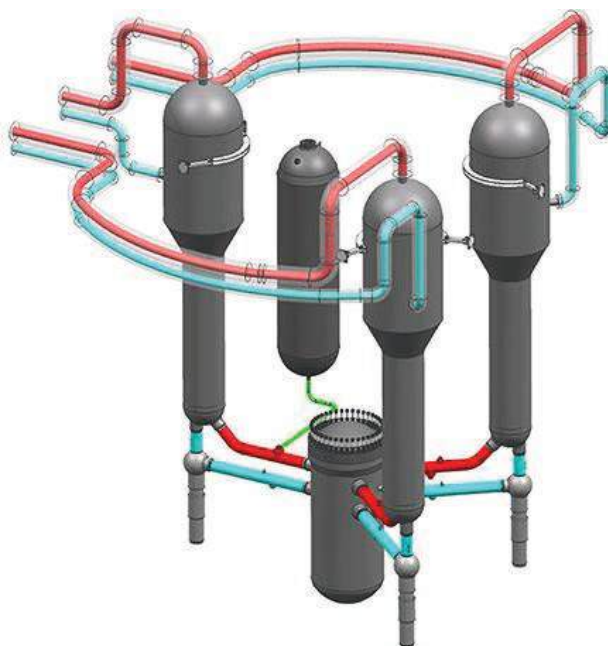


Fig. 5 – moduli di SMR assemblati

Tra le convenienze si può affermare che gli SMR, collegati in più moduli, riducono le spese di costruzione ed i costi del personale addetto al loro funzionamento, aumentano l'efficienza "di contenimento" e, in scenari di emergenza, sono dotati di sistemi di sicurezza passivi funzionanti senza alimentazione esterna e senza intervento umano. Anche dal punto di vista finanziario, per il loro impianto, i costi diventano più sostenibili.

Un modulo ha un fattore di capacità superiore al 95 %. Per un impianto di alimentazione con un determinato carico di base, il "fattore di capacità" viene convenzionalmente definito come il rapporto

$$f.c. = \frac{\xi}{U}$$

cioè dal rapporto tra la produzione di energia elettrica effettiva "  $\xi$  " fornita da un impianto di potenza durante un periodo di tempo e la fornitura teorica di energia "  $U$  " che avrebbe potuto offrire se avesse operato alla piena potenza nominale in modo continuativo nel tempo.

Mediamente, un SMR ha un peso di circa 700 tonnellate e, utilizza un combustibile standard per reattori ad acqua leggera (LWR) quale l'Uranio arricchito a meno del 5 % (isotopo  $^{235}\text{U}$ ) e si ritiene che l'impianto possa essere operativo per 60 anni. Come già detto, viene trasportato su strada o ferrovia suddiviso in tre segmenti.



Fig. 6 – Trasporto su strada di un modulo SMR

Oggi una delle principali alternative all'Uranio per la produzione di energia nucleare è il Torio che viene utilizzato come combustibile anche dagli SMR.

Il Torio è un elemento radioattivo con un grande potenziale per la produzione di energia nucleare ed è sia più disponibile che più efficiente dell'Uranio.

Una singola tonnellata di Torio produce tanta energia quanto 200 tonnellate di  $^{235}\text{U}$

1 kg di Torio = 200 kg di Uranio

quindi, il Torio ha un rendimento energetico notevolmente superiore unito al vantaggio di essere più abbondante in natura.

Le centrali nucleari sono progettate per funzionare in modo continuativo per lunghi periodi; avendo un funzionamento quasi continuo, garantiscono una produzione stabile.

Rispetto ai grandi reattori convenzionali, che comportano il rifornimento di carburante ogni 18 - 24 mesi, molti SMR odierni offrono la possibilità di coprire periodi superiori a 10 anni senza richiedere alcuna forma di rifornimento.

Le interruzioni, mediamente, durano 10 giorni e non sono dovute a inefficienza ma alla necessità di svolgere attività di manutenzione ordinaria, di rifornimento del combustibile e di controlli di sicurezza.

Una centrale nucleare moderna, se ben gestita, ha una produttività notevole in quanto può operare con un'alta efficienza per la maggior parte dell'anno, producendo quantità molto elevate di energia. Un impianto da 12 moduli di potenza da 77 MWe per unità, produce 924 MWe (lordi) e può alimentare oltre 700.000 abitazioni, fornendo elettricità a zero emissioni di carbonio a quasi due milioni di abitanti.

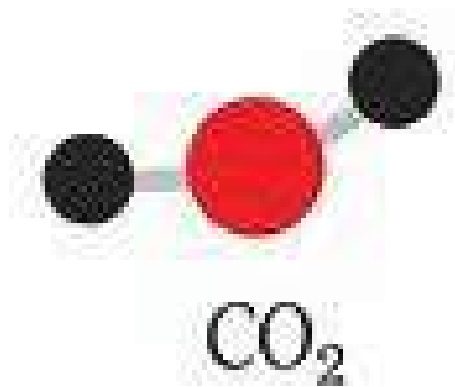


Fig. 7 – Molecola di anidride carbonica

Le emissioni di CO<sub>2</sub> si riducono di otto milioni di tonnellate all'anno rispetto al carbone, che equivale a togliere dalle strade 1,7 milioni di auto all'anno. Gli SMR richiedono quantità di acqua di raffreddamento inferiori rispetto alle centrali nucleari tradizionali che, tipicamente, incorporano impianti per l'estrazione e la dissalazione dell'acqua; ciò significa che aumenta il numero di siti in cui potrebbero essere installati e li rendono idonei specialmente in quelle aree distanti dal mare o dai grandi bacini acquiferi.

Come accennato, la fissione nucleare offre vantaggi rilevanti quali:

- 1) la produzione di energia "pulita" (la fissione nucleare è una delle fonti di energia più pulite dal punto di vista delle emissioni atmosferiche. A differenza delle centrali a carbone o petrolio, le centrali nucleari non rilasciano gas serra nell'atmosfera, contribuendo a ridurre l'inquinamento atmosferico e il riscaldamento globale),
- 2) l'alta potenza energetica (la quantità di energia prodotta dalla fissione è enorme rispetto alla quantità di combustibile usato. Per esempio, una piccola quantità di uranio può produrre una quantità di energia milioni di volte superiore rispetto alla stessa quantità di combustibili fossili),
- 3) l'indipendenza energetica (le centrali nucleari possono contribuire a ridurre la dipendenza energetica da paesi che esportano petrolio o gas naturale, aumentando la sicurezza energetica di una nazione).

Ulteriori potenziali vantaggi rispetto alle centrali nucleari convenzionali, sono:

- a. la flessibilità della loro costruzione modulare (è possibile collegare in modo incrementale ulteriori unità alla rete nel caso in cui il carico elettrico dovesse aumentare).



Fig: 8 – Rappresentazione di impianto SMR.

- b. la modularità (la flessibilità in un design SMR standardizzato ruota intorno alla modularità e consente, dopo il completamento del primo reattore in loco, una produzione di energia più rapida ad un costo decrescente).

Flessibilità e modularità permettono l'installazione di ulteriori impianti capaci di generare energia e collegabili alle centrali elettriche esistenti.

In ciascun sito si possono allocare diversi SMR facendo sì che, nel momento in cui uno di essi vada off-line (ad esempio per il rifornimento) gli altri reattori rimangano online e, quindi, operativi.

Tale metodica è attualmente sperimentata ed utilizzata anche per i grandi reattori convenzionali.

Nonostante i numerosi vantaggi, la fissione nucleare utilizzata dagli SMR non è esente da rischi.

I principali pericoli sono legati alla gestione delle scorie radioattive ed alla possibilità di incidenti nucleari.

I prodotti di scarto della fissione, essendo radiogeni, rimangono attivi per migliaia di anni per cui, la loro gestione resta un problema non ancora risolto.

Esplosioni o fuoriuscite di materiali radioattivi possono contaminare ampie aree e provocare danni irreparabili alla salute umana ed all'ambiente.

E sebbene le centrali nucleari moderne siano progettate con sistemi di sicurezza avanzati, gli incidenti nucleari, anche se rari, sono possibili.

Si è già visto che per gli SMR si è operata una scelta progettuale che integra il nucleo primario del reattore, il generatore di vapore e il pressurizzatore, tutti assemblati all'interno di un unico "recipiente" sigillato.

Questa scelta di "design integrato" consente la riduzione dei rischi dovuti ad un possibile incidente in quanto le eventuali perdite di contaminanti rimangono confinate all'interno del recipiente.

Questa caratteristica, rispetto ai reattori più grandi che hanno numerosi componenti al di fuori del recipiente del reattore, aumenta la sicurezza diminuendo il pericolo di danni dovuti ad un incidente non confinato.

Poiché il calore di decadimento iniziale è una frazione della potenza di funzionamento del reattore, la potenza operativa inferiore degli SMR li rende molto più sicuri poiché è necessario dissipare meno calore.

Alcuni progetti SMR prevedono anche di installare nel sottosuolo il reattore e le piscine di stoccaggio di combustibile esaurito.

L'impianto, inizialmente posto ad una profondità di esercizio (circa 25 metri) viene poggiato su un pavimento di acciaio, amovibile, che, al bisogno, può essere aperto lasciando sprofondare l'impianto nel sottosuolo dove è predisposto un idoneo confinamento.



Fig. 9 - Stele a ricordo e monito dell'incidente all'Unità 2 della centrale nucleare.

Un "deposito geologico profondo", nel caso di incidenti, consentirebbe un rapido intervento sui rifiuti radioattivi pericolosi che verrebbero interrati immediatamente all'interno di un ambiente geologico stabile ad una considerevole profondità compresa tra 200 e 1.000 metri sotto la superficie.

E' risaputo che la sicurezza di un impianto ad energia atomica dipende da molti fattori.

In merito alla gestione dei rifiuti nucleari, gli SMR:

- hanno un inventario radioattivo inferiore,
- mirano ad un livello di sicurezza più elevato,
- adottano particolari semplificazioni strutturali,
- ricorrono ad un maggiore uso di sistemi passivi di protezione e di affidabilità,
- prevedono sistemi di sicurezza con un elevato grado di ridondanza.

Negli impianti tradizionali, una perdita nel sistema di raffreddamento di emergenza, a cui consegue una temperatura troppo alta nel reattore, provoca una fusione nucleare.

Abbiamo esempi tragici di come un incidente nucleare possa avere conseguenze devastanti: l'incidente nucleare di Three Mile Island nel 1979, il disastro di Chernobyl nel 1986 e quello di Fukushima nel 2011.



Fig. 10 - Allocazione di un SMR sotto il livello del suolo.

Tra i vari tipi di progetti in atto, solo alcuni sono suscettibili di ricevere sostegno dal Pubblico; ottengono cospicui finanziamenti dalle Politiche Nazionali solo i progetti che affrontano adeguatamente le problematiche sulla sicurezza di cui sopra.

Nel dibattito scientifico, i sostenitori della validità degli impianti SMR affermano che l'energia nucleare, dal momento che utilizza una tecnologia comprovata, è più sicura.

L'industria nucleare sostiene che le dimensioni più piccole rendono gli SMR più sicuri se paragonati agli impianti convenzionali più grandi.

Afferma, infatti, che poiché il problema principale associato alle fusioni nucleari è dato dal calore di decadimento che rimane presente anche dopo lo spegnimento del reattore, la minore potenza degli SMR lo renderebbe molto più basso.

Tuttavia, alcuni osservano criticamente che la condizione che ci siano sul territorio numerosi piccoli reattori nucleari rappresenta un rischio più elevato poiché richiede maggiore attenzione nel trasporto del combustibile, maggiore frequenza nel rifornimento degli impianti ed un aumento della produzione di rifiuti radioattivi.

Molte Nazioni, attraverso le loro aziende, sono impegnate nella ricerca,

nella produzione e nella sperimentazione di nuovi SMR (Argentina, Canada, Cina, Corea del Sud, Danimarca, Francia, Giappone, Regno Unito, Repubblica Ceca, Russia, Stati Uniti, Sud Africa, Svezia).



Fig. 11- Impianto SMR NuScale.

Per gli innumerevoli vantaggi che offrono, gli SMR stanno attirando molta attenzione anche in Italia. L'Ansaldo Nucleare, attraverso il suo consolidato know-how, contribuisce allo sviluppo di parecchi concetti di Small Modular Reactors ed alla qualificazione di scambiatori di calore e di generatori di vapore innovativi, dedicati al nucleare. L'azienda partecipa allo studio di nuovi reattori, tra cui il NuScale della Power Corporation, società americana che progetta e commercializza piccoli reattori modulari nella sede di Tigard, in Oregon. La centrale elettrica VOYGR dell'azienda NuScale Power Corporation, che utilizza 12 moduli da 50 MWe, è dotata di un generatore di vapore a serpentina elicoidale che è stato validato e migliorato utilizzando gli strumenti e le capacità di calcolo propri delle conoscenze dell'Ansaldo Nucleare.

Inoltre, nell'ambito dei progetti finanziati dall'EURATOM e del partenariato dell'U.E. per piccoli reattori modulari, l'Ansaldo Nucleare sta attualmente coordinando le industrie e le organizzazioni di ricerca di settore nella valutazione dello stato e delle prospettive della filiera SMR in Europa. Si ritiene che la maggior parte dei futuri SMR sarà commercialmente disponibile entro il 2030.

Nella consapevolezza che l'impiego degli SMR sul territorio nazionale richiede una valutazione complessiva che coinvolge molteplici stakeholder, tra cui governi, autorità di regolamentazione, industrie, comunità locali, è tuttavia necessario dare spazio alla discussione delle sfide legate a questa tecnologia, con particolare riguardo alla gestione a lungo termine dei rifiuti radioattivi.

Coerentemente, anche l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma si è interessato al problema attraverso un seminario dal titolo "Partnership in ambito U.E. in materia di autorizzazione degli SMR (Small Modular Reactors): tecnologie, modelli e applicazioni" realizzato nel luglio dello scorso anno.

La trasparenza nel processo decisionale e nella comunicazione è fondamentale per ottenere il consenso pubblico e garantire il successo di tali progetti.

Altrettanto utile è disporre di un quadro normativo coerente e aggiornato, nonché della necessità di investire costantemente in ricerca, sviluppo e formazione di personale esperto.

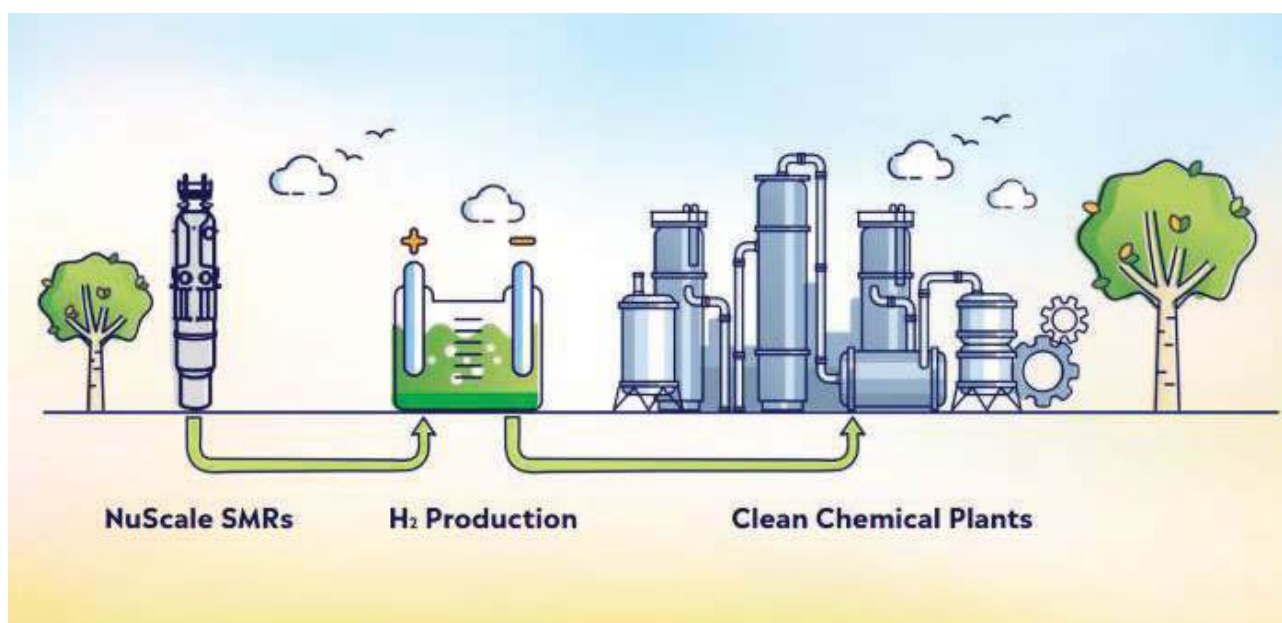


Fig. 12- Raffigurazione di un impianto SMR con produzione di H<sub>2</sub>.

## Cultura e Società

a cura di Ing. Giancarlo Spadanuda

# Senza la scrittura anche l'ingegneria più avanzata resta sola nell'universo degli uomini

Mi è stato spesso chiesto: "Ma come fa un ingegnere a scrivere di letteratura e poesia?"

Rispondo così.

La passione per la lettura si manifesta già da molto giovani: da essa deriva quella per la scrittura: Moravia affermava che, nel corso della sua lunga malattia da giovane, aveva letto, ma letto tanto, anche in francese.

La falsa idea che l'ingegnere sia tutto d'un pezzo, insensibile ai dolci sentimenti, alla bontà, alla vicinanza coi più deboli, è un falso storico, inventato da non so chi.

C'è come una strana e tenace correlazione fra l'ingegnere e la scrittura; si può affermare che tra i maggiori scrittori del secolo passato ci sono stati proprio gli ingegneri, o coloro che si sono avvicinati agli studi di ingegneria.

Se ne citano alcuni.

Il russo Dostoevskij (Delitto e Castigo), l'austriaco Musil (L'uomo Senza Qualità), l'austriaco Wittgenstein (anche filosofo, noto è il suo aforisma "su ciò di cui non si può parlare, si deve tacere"), lo scrittore di lingua tedesca Canetti (Nobel 1981, autore del

famoso *Auto da Fe'*), e gli italiani: Carlo Emilio Gadda (Quer Pasticciaccio Brutto de Via Merulana, da cui Pietro Germi trasse il film *Un Maledetto Imbroglione*); Leonardo Sinisgalli; ed il grande, sempre da me amato, Luciano De Crescenzo, ingegnere IBM, poi convertito con successo alla scrittura con capolavori ad iniziare da "Così Parlò Bellavista". Insomma, ce n'è abbastanza. Cerchiamo di individuare le ragioni.

L'ingegnere-scrittore, obbedisce tutta la vita ad un sentimento di fuga dalle scienze esatte, ama la nascita dei sentimenti più puri che si esprimono all'improvviso, senza una "programmazione ingegneristica", ovvero lontani da una realtà opprimente ove è presente non solo un disagio esistenziale, ma anche l'arrendevolezza all'idea di dominio della ragione. Fatto sta che la scienza ha bisogno della scrittura.

Le mie infinite letture giovanili si sono trasformate, ora, in una lezione: senza la scrittura, che da esse deriva, accompagnata da felicità, ironia, mistero, anche l'ingegneria più avanzata resta sola nell'universo dell'uomo.



## Cultura e Società

a cura di Ing. Giancarlo Spadanuda

# Il Ponte Morandi e la storia di due geni

Fra giorni torna nuovamente ad essere illuminato il "nostro" Ponte, come affettuosamente lo chiamano con malcelato orgoglio i catanzaresi. E' una riedizione perché con cerimonia sfarzosa degna dell'omaggio alle grandi star, esso Ponte era stato già illuminato il 13 ottobre 2001 con una serata anche di fuochi d'artificio di tutti i colori e sfumature: presenti non solo tutti i big ,ma anche l'intera città.

Giova ricordare brevemente la storia del Ponte e del suo principale artefice l'ingegnere RICCARDO MORANDI, che si relazionava con un suo omologo catanzarese (di adozione, perché di origine slava ) già raccontata su alcune riviste e pubblicazioni .

Mio padre fu inviato a Catanzaro, perché era grande esperto di calcoli in cemento armato, che eseguiva con il regolo calcolatore Albert Nestler-A.G.Lahr-Baden Germany, lungo appena 18 cm. Esso era costituito da una parte fissa in legno, con su scorrevole una parte mobile: dalla combinazione delle due parti erano resi visibili i risultati: come facesse mio padre a fare quei calcoli complessi non l'ho mai capito (eppure sono ingegnere!),li eseguiva rigorosamente nel corso della notte.

Sono sempre stato molto orgoglioso di questa storia "d'amore" tra Morandi e mio padre, perché, principalmente Morandi, è elevato a gloria internazionale: l'ardito Ponte ,già detentore di alcuni primati tecnici, registra infatti quello di primo ponte ad arco in cemento armato con luce superiore ai 200 metri che non abbia ceduto all'atto del disarmo : "l'abbattimento totale in chiave risultò infatti pari ad appena 75 mm. ,contro i 100 mm previsti preventivamente". Merito del regolo calcolatore di mio padre?

Pur essendo Ordinario di Elettronica e Telecomunicazioni, sentivo il gran desiderio, almeno una volta all'anno di spiegare e illustrare tutte le caratteristiche tecniche -e non solo-del nostro Ponte.

Scrivo l'ingegnere Morandi all'ingegnere ALBERTO SPADANUDA: "i catanzaresi possano sempre di più amare il loro ponte integrandolo nel vivo della vita di relazione cittadina".

I fuochi e le luci che illumineranno fra giorni il Ponte, siano di buon auspicio perché i catanzaresi possano non solo entusiasarsi per la sua rinnovata bellezza, ma anche essere spinti ad innamorarsi ancor più, perché ,si sa, la bellezza fa innamorare le persone.



## Eventi

a cura di Ing. Francesco Augruso - Vice Presidente dell'Ordine  
Ing. Fabio Cosco - Consigliere dell'Ordine

# Progettare nell'epoca del disordine: il ruolo dell'ingegnere tra complessità, innovazione e responsabilità. La *Lectio brevis* del Prof. Ing. Giuliano Noci.

Più che una *Lectio brevis* quella del Prof. Giuliano Noci è stata una vera e propria *Lectio magistralis* dal titolo *Valori e capacità di visione nell'epoca del disordine globale*. Un intervento che, proprio in virtù del suo peso e della sua importanza, è stato collocato subito dopo la relazione generale del presidente del CNI Angelo Domenico Perrini durante il 69° Congresso Nazionale dell'Ordine degli Ingegneri tenutosi ad Ancona dal 13 al 16 Ottobre 2025.

Un intervento che ha suscitato l'attenzione dell'intera assemblea che lo ha seguito sino alla fine in assoluto silenzio e che è diventato – a parere di chi scrive - momento centrale di tutto l'evento congressuale. Soprattutto per come ha saputo delineare, in modo nitido e, per molti aspetti, spietato il quadro geopolitico in cui operiamo e che costituisce lo scenario ineludibile delle nuove sfide nel quadro dei nuovi equilibri globali.

In tale contesto sono stati individuati i tre elementi di tensione che hanno messo in discussione il vecchio ordine mondiale. Da evidenziare come il termine tensione veniva rimarcato dal professor Noci come concetto da intendere alla stessa stregua di come noi ingegneri lo usiamo nella Scienza delle Costruzioni. Il primo elemento è costituito dal superamento delle regole del governo del mondo scaturite dagli accordi di Bretton Woods (1944, New Hampshire - USA). Erano gli anni in cui la sola ricchezza degli Stati Uniti d'America rappresentava il 51% di quella totale. Erano gli anni che seguivano la fine del secondo conflitto mondiale ed in cui vedevano la luce i grandi organismi di regolazione della vita del mondo: il Fondo Monetario Internazionale (FMI), la Banca Internazionale per la Ricostruzione e lo Sviluppo (BIRS) che oggi chiamiamo più semplicemente Banca Mondiale, la Carta delle Nazioni Unite e poi l'ONU (1945).



Il secondo elemento è rappresentato dall'irruzione, avvenuta negli ultimi decenni, delle nuove tecnologie a seguito della trasformazione digitale (TD). Ciò ha cambiato e, per molti aspetti, ha sconvolto le vecchie logiche del modo di produzione e distribuzione delle risorse e dei beni materiali.

Il terzo elemento di tensione dell'ordine mondiale è costituito dalle modalità con cui è stata recepita la TD da parte dei diversi paesi del pianeta che hanno conosciuto e continuano ad avere con essa un approccio differenziato proprio in rapporto al proprio precedente stato di sviluppo e di modernizzazione.

E' evidente che l'approccio di un paese come la Cina, per citare uno degli esempi più eloquenti, che prima della rivoluzione maoista del 1949 era un paese economicamente arretrato e povero, fondamentalmente agricolo e che ha conosciuto una rivoluzione industriale con tempi e modi diversi da quelli dei paesi occidentali, è stato facilitato dal non avere avuto i condizionamenti delle vecchie incrostazioni di carattere culturale e metodologico del mondo occidentale. Trovandosi così ad operare su un terreno vergine e, per altri aspetti, meno condizionante. Stesso fenomeno, a fortiori, è avvenuto e sta avvenendo per i paesi emergenti del continente africano.

In questo contesto è del tutto chiaro che l'irrompere dell'intelligenza Artificiale (AI) è la sciabolata finale del processo innescato dalla TD e rappresenta un decisivo spartiacque per tenersi agganciati al treno della nuova modernizzazione.

Bene lo ha capito la Cina che con i suoi tre milioni di ingegneri sfornati ogni anno si definisce Engineering State (ovvero Stato di Ingegneria) in barba alle ideologie illusorie e palinogenetiche del Novecento. Il monito lanciato dal prof. Noci a tutta la nostra categoria è quello di sapere trasformare il nostro approccio alla professione di ingegneri. Di essere in grado di riconvertire il nostro habitus mentale e passare da progettisti di oggetti (funzione ormai assolta dall'AI con la sua logica correlativa-associativa) a professionisti che sanno organizzare, orchestrare, in una parola, gestire, i processi come soggetti nati, per vocazione, a trasformare conoscenze.

Le tematiche brillantemente esposte nella sua Lectio congressuale sono trattate dal prof. Noci, in termini molto più approfonditi, nel nuovo saggio recentemente pubblicato dal titolo Disordine. Le nuove coordinate del mondo.

In esso l'autore descrive la nostra epoca come una fase di transizione permanente: un mondo in cui le polarità tradizionali (ordine/caos, locale/globale, stabilità/cambiamento) non si oppongono più, ma coesistono e si fondono. Il disordine non è un incidente, ma la nuova condizione strutturale della realtà contemporanea.

Per l'ingegneria, questo implica una trasformazione radicale: progettare non più per la stabilità, ma per l'adattabilità. La capacità di interpretare, anticipare e gestire la complessità diventa la nuova competenza cardine.

Per decenni, la progettazione ingegneristica si è basata su modelli prevedibili e lineari.

Oggi, invece, fattori geopolitici, crisi energetiche e innovazioni digitali rendono impossibile pianificare secondo logiche statiche.

Il vantaggio competitivo nasce dalla flessibilità, dalla capacità di leggere le discontinuità e trasformarle in opportunità di progetto.

L'ingegnere deve quindi spostarsi dal paradigma dell'ottimizzazione a quello dell'evoluzione continua.

Le crisi recenti hanno mostrato quanto le infrastrutture siano vulnerabili a shock improvvisi.

La risposta è una progettazione basata su modularità, scalabilità e resilienza, che consenta ai sistemi di adattarsi rapidamente.

Così le infrastrutture diventano reti energetiche, idriche e di trasporto dotate di sensori e analisi predittiva; il concetto di energia è rappresentato da sistemi ibridi e decentralizzati, capaci di integrare fonti rinnovabili e microreti; le industrie diventano fabbriche digitali e linee produttive modulari, adattabili ai mercati in continua variazione.

Noci invoca una nuova figura di professionista capace di leggere i fenomeni in modo profondo e integrato.

L'ingegnere contemporaneo non può essere soltanto un tecnico, ma deve diventare un sintetizzatore

di sistemi complessi. Saper collegare tecnologia, economia, ambiente e società.

Le competenze chiave diventano possedere un pensiero sistemico ovvero saper modellare scenari incerti.

Sapere vivere nell'interdisciplinarietà e lavorare tra competenze tecniche ed umanistiche secondo i principi dell'etica e della sostenibilità. Significa saper comprendere gli impatti sociali e ambientali delle scelte progettuali.

Nel mondo del disordine, osserva Noci, l'oggetto perde la sua essenza originaria.

Non esiste più una funzione unica e immutabile: prodotti, infrastrutture e istituzioni diventano fluidi e riconfigurabili.

Un impianto industriale non è più solo una macchina per produrre, ma una piattaforma adattiva che integra dati, utenti e intelligenza artificiale.

In questo scenario, l'ingegnere diventa interprete di senso: colui che restituisce significato e direzione alle cose che progetta.

Ogni scelta tecnica è anche una scelta culturale ed etica.

L'oggetto non ha più un'essenza fissa: è l'ingegnere a definirla, nel contesto mutevole in cui opera.

Il disordine è amplificato dal digitale.

L'intelligenza artificiale, i big data e l'automazione ridefiniscono il rapporto tra efficienza e controllo.

Le sfide principali sono tre:

1. Governance algoritmica: creare sistemi performanti ma anche trasparenti e responsabili;
2. Cyber-resilienza: garantire continuità e sicurezza in contesti interconnessi;
3. Human-in-the-loop: mantenere la supervisione umana nei processi automatizzati.

La transizione ecologica e digitale sono manifestazioni di "disordine generativo": cambiamenti caotici che possono produrre nuovo equilibrio.

L'ingegnere deve tradurre visioni di sostenibilità in soluzioni concrete, progettando per l'adattabilità e la durata.

I nuovi principi guida sono l'economia circolare come criterio di progetto, la variabilità climatica e geopolitica come vincoli strutturali, le tecnologie abilitanti (AI, IoT, materiali intelligenti) come strumenti di resilienza.

In conclusione il disordine va – semplicemente - letto, interpretato, affrontato. Solo riconoscendolo possiamo costruire un futuro capace di senso e direzione.

Per l'ingegneria, significa passare da una logica di controllo a una di governo del cambiamento.

L'ingegnere del disordine non teme la complessità: la interpreta, la orienta, la trasforma in innovazione. Il futuro non sarà ordinato, ma può essere progettato con metodo. Questa è la vera responsabilità della nostra professione.



## Eventi

a cura di Ing. Antonietta Sacco

# **“COMMISSIONE GIOVANI INGEGNERI”: ENERGIA, IDEE E COLLABORAZIONE PER COSTRUIRE IL FUTURO DELL'INGEGNERIA**

Notizie della nostra commissione e la partecipazione all'evento precongressuale organizzato dal NGI - Network Giovani del CNI



### LA COMMISSIONE GIOVANI INGEGNERI DEL NOSTRO ORDINE

La Commissione Giovani Ingegneri è lo spazio dove i professionisti più giovani (e non solo!) si incontrano per condividere esperienze, creare connessioni e far sentire la propria voce nel mondo dell'ingegneria.

Con la commissione:

- diamo voce ai giovani professionisti, valorizzandone idee e proposte creando relazioni e occasioni di confronto per crescere insieme;
- partecipiamo ad eventi e progetti che mettono in luce talento, competenze e passione;
- sosteniamo i nuovi ingegneri, accompagnandoli nei primi passi della carriera.

La Commissione è coordinata dalla Consigliera Ing. Antonietta Sacco e dal Delegato Network Ing. Salvatore Cuffaro. È aperta a tutti gli iscritti che desiderano mettersi in gioco e contribuire con idee, entusiasmo e spirito di squadra.

La maggior parte degli ordini degli ingegneri d'Italia ha una commissione giovani e i loro delegati, tra cui

quelli del nostro ordine, partecipano ad un grande gruppo di lavoro NGI - “Network Giovani Ingegneri” del CNI, una rete che collega tutte le commissioni giovani d'Italia per condividere esperienze, progetti e visioni per il futuro della professione.

### RIFORMA DELLA DISCIPLINA DEGLI ORDINAMENTI PROFESSIONALI: PAROLA AI GIOVANI

A seguito della richiesta del CNI, rivolta a tutti gli Ordini territoriali, di fornire contributi e osservazioni in merito al Disegno di Legge recante “Delega al Governo per la riforma della disciplina degli ordinamenti professionali”, il Network NGI ha ritenuto fondamentale coinvolgere i giovani ingegneri, offrendo loro l'opportunità di esprimere idee, proposte e punti di vista.

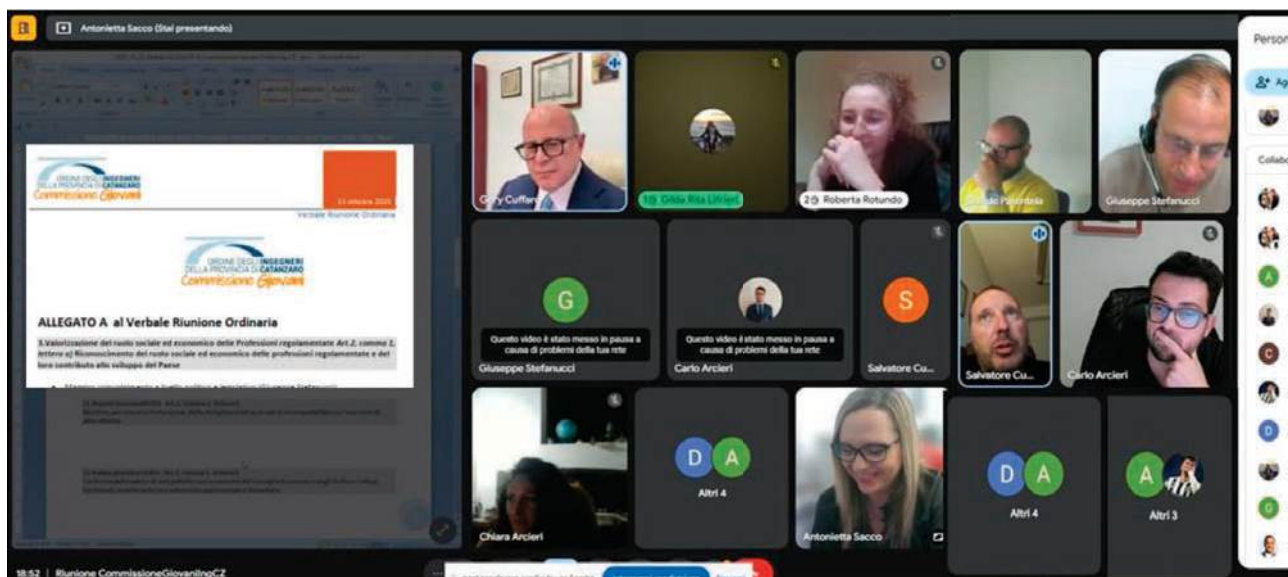
La Commissione Giovani Ingegneri della Provincia di Catanzaro ha partecipato attivamente a questa iniziativa, grazie al prezioso sostegno del Presidente Ing. Gerlando Cuffaro e del Vicepresidente Ing. Giuseppe Stefanucci.

La Coordinatrice Ing. Antonietta Sacco ha organizzato un incontro dedicato alla raccolta delle

osservazioni e dei contributi di tutti i membri della commissione. La riunione è stata anche un'importante occasione di confronto aperto, durante il quale sono emerse riflessioni e "parole in libertà" su temi centrali per la professione, quali equo compenso, esame di Stato, disciplina delle specializzazioni e ridefinizione dell'obbligo formativo.

Lo "STARTER KIT" segna l'avvio di un percorso di dialogo e collaborazione tra il Consiglio Nazionale degli Ingegneri (CNI) e i singoli Ordini Provinciali, con particolare attenzione ai neo-laureati e ai nuovi iscritti alla professione.

Si tratta di un manuale introduttivo e informativo, pensato per chi si affaccia per la prima volta al



## STARTER KIT : GUIDA PRATICA PER GIOVANI INGEGNERI

La Consigliera e Coordinatrice, Ing. Antonietta Sacco, ha partecipato al comitato di redazione della prima edizione dello "STARTER KIT", offrendo il proprio contributo alla stesura del volume.



mondo ordinistico dell'ingegneria, con l'obiettivo di fornire nozioni di base, strumenti e orientamento per comprendere cosa comporti l'iscrizione all'Ordine.

Il manuale è attualmente in fase di revisione da parte del CNI e dei suoi organi competenti e dovrebbe essere inviato agli Ordini entro la fine dell'anno.

## 69° CONGRESSO CNI : EVENTI FUORICONGRESSO ORGANIZZATI DAL NGI

Lo scorso sabato 12 ottobre 2025, ad Ancona, Piazza Roma si è trasformata in un vero e proprio laboratorio a cielo aperto in occasione di "Ingegnermoci per la città", l'evento promosso dalla rete giovanile del CNI Giovani Ingegneri nell'ambito del 69° Congresso degli Ordini degli Ingegneri d'Italia.

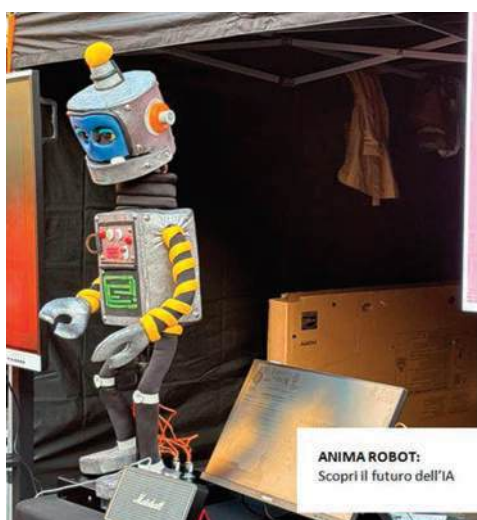
La manifestazione ha animato il centro cittadino coinvolgendo cittadini, studenti, professionisti e curiosi, tutti accomunati dalla voglia di scoprire come ingegneria, tecnologia e creatività possano dialogare con la vita quotidiana.

La piazza è stata suddivisa in diverse aree tematiche – *sicurezza, energia e sostenibilità, sport e inclusione, intelligenza artificiale* – dove i passanti hanno potuto sperimentare strumenti e dispositivi

Durante l'evento è stato possibile testare strumenti per la sicurezza sul lavoro e in ambito domestico, conoscere le principali novità nel campo della sostenibilità energetica, e provare tecnologie sportive inclusive, applicazioni di biomeccanica, ausili per la disabilità e materiali hi-tech ad alte prestazioni.

La giornata è stata arricchita da esibizioni tecniche, prove di abilità, dimostrazioni pratiche e mini-competicizioni sportive, organizzate in collaborazione con le principali associazioni del territorio.

Tra le novità più apprezzate, la dimostrazione di soluzioni di intelligenza artificiale empatica, con la partecipazione di "Animarobot", eccellenza nel campo dell'Emotion AI.



Grazie all'intelligenza artificiale empatica, questa tecnologia è in grado di analizzare segnali emotivi umani, verbali e non verbali, adattando le proprie risposte in base all'interlocutore.

Un'esperienza che ha mostrato concretamente come la tecnologia possa avvicinarsi all'uomo, interpretandone emozioni, linguaggio e contesto.

Tra i momenti più partecipati, anche il percorso "Sport e inclusione", che ha dimostrato come le persone con disabilità possano vivere esperienze innovative grazie a tecnologie assistive di ultima generazione.

La coordinatrice Antonietta Sacco ha avuto un ruolo attivo nell'organizzazione dell'evento, contribuendo in particolare all'area tematica dedicata alla sicurezza, con la preziosa collaborazione del Comando dei Vigili del Fuoco di Ancona.

L'iniziativa ha rappresentato un equilibrio riuscito tra momenti ludici, formativi e di cittadinanza attiva, prevedendo anche uno spazio dedicato alla raccolta di opinioni e suggerimenti dei cittadini sugli obiettivi dell'Agenda 2030 dell'Unione Europea.

L'evento ha così centrato il suo obiettivo: portare l'ingegneria tra le persone, trasformandola in un'occasione di incontro, partecipazione e scoperta in un contesto informale e aperto.

#### INGEGNIAMOCI PER LA CITTÀ : UNA GIORNATA NAZIONALE NELLE PIAZZE ITALIANE

Il Network Giovani Ingegneri (NGI), grazie alla rete di connessioni costruita attraverso iniziative come "Ingegniamoci per la città", ha dimostrato il proprio impegno sociale, confermandosi come una risorsa attiva per la collettività e continuando a dare voce ai giovani ingegneri italiani.



Questo risultato è reso possibile anche dal prezioso contributo di tutte le Commissioni Giovani dei vari Ordini territoriali.

In questa prospettiva, l'officina del NGI "Network in piazza" sta sviluppando un progetto innovativo che mira a portare l'impegno e la passione degli ingegneri direttamente nelle piazze, attraverso una giornata nazionale unica dedicata all'incontro con la popolazione. L'iniziativa intende creare un dialogo aperto e interattivo, permettendo ai cittadini di conoscere da vicino le tecnologie, i progetti e le innovazioni in cui gli ingegneri sono protagonisti: dalle soluzioni consolidate, come i dispositivi di protezione individuale, alle sfide del futuro, come l'intelligenza artificiale.

Attraverso stand ricchi di dimostrazioni pratiche e momenti di confronto, i professionisti racconteranno il loro lavoro con un linguaggio accessibile ma rigoroso, rispondendo a ogni curiosità e stimolando l'interesse verso l'ingegneria, con l'obiettivo di avvicinare la cittadinanza al valore concreto della professione.

Giovani ingegneri: reti di idee, futuro da costruire.

*Dott. Ing. Antonietta Sacco*

Consigliera e Coord. della Commissione Giovani dell'ordine

## Eventi

a cura di Ing. Giuseppe Stefanucci  
Vicepresidente Vicario dell'Ordine

# Il 69° Congresso Nazionale degli Ordini degli Ingegneri d'Italia

Ancona, 13-16 ottobre 2025

*Valori, Innovazione e Sicurezza nell'ingegneria che cambia*

Dal 13 al 16 ottobre 2025 si è svolto ad Ancona, presso il Teatro delle Muse, il **69° Congresso Nazionale degli Ordini degli Ingegneri d'Italia**, il momento più alto della vita istituzionale della Categoria e lo spazio nel quale i rappresentanti degli Ordini territoriali si confrontano per definire priorità, impegni e linee di azione comuni.



L'evento, organizzato dal **Consiglio Nazionale degli Ingegneri** con la collaborazione degli Ordini di **Ancona e Macerata**, si è collocato in una fase particolarmente significativa per il Paese, caratterizzata da profonde trasformazioni infrastrutturali, energetiche, digitali e sociali, che richiedono competenze tecniche elevate, visione strategica e un forte senso di responsabilità professionale.

Ho partecipato ai lavori congressuali insieme al **Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catanzaro, ing. Gerlando Cuffaro**, e ad altri colleghi dell'Ordine, contribuendo a un confronto di alto profilo tecnico e istituzionale che

ha coinvolto rappresentanti delle istituzioni, dell'università, dei corpi tecnici dello Stato e del mondo produttivo.

Il tema scelto per l'edizione 2025 – **“Valori, Innovazione, Sicurezza nell'ingegneria che cambia”** - ha rappresentato il filo conduttore dell'intero Congresso, richiamando la necessità di governare il cambiamento attraverso competenza, etica e centralità del ruolo del professionista.

### LA RELAZIONE DEL PRESIDENTE DEL CNI E LE SFIDE DELLA PROFESSIONE

Momento centrale della prima giornata è stata la relazione del **Presidente del Consiglio Nazionale degli Ingegneri, ing. Angelo Domenico Perrini**, che ha tracciato lo stato dell'arte e le prospettive future per oltre **260.000 ingegneri italiani**, collocando il ruolo della professione nel contesto delle grandi trasformazioni economiche, sociali e tecnologiche in atto.

Nel suo intervento, il Presidente ha richiamato con forza il **valore pubblico dell'Albo professionale**, quale strumento di garanzia per la sicurezza dei cittadini e per il corretto esercizio della professione. In questo quadro si inserisce la posizione del CNI sull'**obbligatorietà dell'iscrizione all'Albo** per tutti coloro che esercitano, in qualsiasi forma, attività riconducibili all'ingegneria, a tutela della collettività, della qualità delle prestazioni e del rispetto delle regole deontologiche.

Ampio spazio è stato dedicato al **disegno di legge delega per la riforma degli ordinamenti professionali**, definito un'occasione storica per il riordino delle competenze e per una più chiara definizione delle attività riservate, in coerenza con i percorsi formativi. Centrale anche il tema dell'**accesso alla professione**, con il superamento dell'attuale esame di Stato attraverso l'attuazione della laurea magistrale abilitante e l'introduzione di un tirocinio formativo integrato nel percorso universitario.

Nel corso della relazione sono stati inoltre affrontati il principio dell'**equo compenso**, la necessità di aggiornare i parametri ministeriali per i servizi di ingegneria e architettura e il tema del **Codice dei contratti pubblici**, con particolare riferimento al correttivo recentemente approvato.

Il Presidente ha infine richiamato l'urgenza di una **riforma organica della normativa urbanistica** e l'importanza della **prevenzione del rischio sismico e idrogeologico**, ribadendo la necessità di rendere obbligatorio il **fascicolo digitale del fabbricato** per il patrimonio pubblico e privato, quale strumento indispensabile per la conoscenza, la sicurezza e la gestione consapevole del patrimonio edilizio.

Le linee di indirizzo tracciate nella relazione del Presidente del CNI hanno costituito la cornice entro la quale si sono sviluppati i successivi approfondimenti tematici del Congresso.

#### **SICUREZZA DEL TERRITORIO, PREVENZIONE E RESILIENZA**

In coerenza con tali indirizzi, la **mattina di mercoledì 15 ottobre** i lavori congressuali hanno dedicato ampio spazio ai temi della **sicurezza del territorio**, della **prevenzione del rischio sismico e idrogeologi-**

**co e della ricostruzione post-sisma e post-alluvione**, confermando il ruolo centrale dell'ingegneria nei processi di governo e trasformazione del territorio.

Il **Commissario straordinario Guido Castelli** ha evidenziato come il contributo degli ingegneri abbia consentito un significativo cambio di passo nella ricostruzione del Centro Italia, orientandola non solo al ripristino dei danni, ma al miglioramento strutturale, energetico e qualitativo del patrimonio edilizio, in una prospettiva di maggiore sicurezza e resilienza.

Il **Commissario Fabrizio Curcio** ha sottolineato la necessità di rafforzare le politiche di **prevenzione del rischio idrogeologico**, richiamando l'importanza di fondare le scelte pubbliche su analisi tecniche approfondite e su una conoscenza puntuale delle fragilità dei territori, attraverso un dialogo costante e strutturato con le professioni tecniche.

Nel corso della stessa sessione, moderata dai giornalisti **Manuela Moreno (Rai)** e **Gianluca Semprini (RaiNews)**, si è svolto anche un modulo dedicato alle **infrastrutture moderne e resilienti**, affrontate sotto il profilo finanziario, tecnico e della



transizione energetica, senza trascurare il contributo dell'**Intelligenza Artificiale** nella futura gestione dei sistemi di trasporto, in un Paese caratterizzato da un territorio complesso e da un elevato numero di ponti e gallerie. Al dibattito hanno partecipato **Dario Caro, Ennio Cascetta, Andrea Ferrante ed Emanuele Renzi**, offrendo una lettura articolata delle sfide infrastrutturali e di sicurezza.

#### INTELLIGENZA ARTIFICIALE, CODICE DEI CONTRATTI

Nel **pomeriggio di mercoledì 15 ottobre** l'attenzione del Congresso si è concentrata su due temi di particolare rilevanza per il presente e il futuro della professione: l'**Intelligenza Artificiale** e il **correttivo al Codice dei contratti pubblici**.

Con riferimento all'Intelligenza Artificiale, il dibattito ha messo in evidenza le opportunità offerte dalle nuove tecnologie, ma anche la necessità di governarne l'utilizzo con consapevolezza e responsabilità. È stato ribadito un principio condiviso: l'IA può supportare l'attività professionale, ma **la responsabilità delle scelte e degli atti resta sempre in capo al professionista**, chiamato a mediare dati e risultati attraverso competenza tecnica, esperienza ed etica.

Il confronto dedicato al correttivo al Codice dei contratti pubblici, dal titolo *"Dalla Legge Merloni al principio di risultato – Trent'anni di contratti pubblici alla ricerca di efficienza"*, ha evidenziato come, per lungo tempo, l'attenzione della normativa si sia concentrata prevalentemente sulle procedure di gara, trascurando la fase di realizzazione delle opere. Con il correttivo viene finalmente affermato il **principio del risultato**, accompagnato da **importanti interventi di semplificazione**.

Nel dibattito è stata evidenziata la necessità di **riportare al centro il progetto e il ruolo del professionista**, prevedendo al contempo un **più diretto coinvolgimento degli ingegneri nella stesura e nell'aggiornamento delle norme**, affinché le scelte regolatorie siano fondate su competenze tecniche ed esperienza operativa. È stata inoltre sottolineata l'esigenza di **assicurare stabilità normativa**, di aggiornare i **parametri dei compensi professionali** e di rafforzare il principio dell'**equo compenso**.

Nel successivo **Spazio-dibattito riservato ai Presidenti degli Ordini territoriali** sui temi congressuali



è intervenuto anche il **Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catanzaro, ing. Gerlando Cuffaro**, portando il contributo e le istanze del territorio all'interno del confronto nazionale.

#### IL DOCUMENTO PROGRAMMATICO E LE PROSPETTIVE FUTURE

I lavori congressuali si sono conclusi con l'approvazione del **Documento Programmatico finale**, che impegna il Consiglio Nazionale degli Ingegneri e gli Ordini territoriali a proseguire l'azione su temi strategici quali la **rimessa delle professioni, la formazione universitaria e continua, l'equo compenso, l'internazionalizzazione e il rafforzamento del ruolo pubblico dell'ingegneria**.

Il **69° Congresso Nazionale degli Ordini degli Ingegneri** ha rappresentato un momento di sintesi e di visione condivisa, confermando come l'ingegneria italiana costituisca un **fattore imprescindibile di sviluppo, sicurezza e innovazione** per il Paese, in una fase di profonde trasformazioni economiche, sociali e tecnologiche.

Un sentito ringraziamento va al **Consiglio Nazionale degli Ingegneri** e agli **Ordini di Ancona e Macerata** per l'eccellente organizzazione dei lavori. Con lo stesso spirito di partecipazione e responsabilità che ha caratterizzato il Congresso di Ancona, lo sguardo è ora rivolto al **70° Congresso Nazionale degli Ingegneri**, che si terrà a **Trieste nel 2026**.

## Eventi

a cura di Ing. Gerlando Cuffaro  
Presidente dell'Ordine

# Formazione, etica e responsabilità professionale: l'Ordine degli Ingegneri di Catanzaro accoglie i nuovi iscritti

Si è svolto giovedì 11 dicembre, il corso di deontologia professionale dedicato ai nuovi iscritti all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catanzaro.

L'iniziativa, prevista dalla normativa nazionale e obbligatoria entro i primi due anni dall'iscrizione, rappresenta uno dei momenti formativi più rilevanti per i giovani ingegneri che si affacciano alla professione.

La giornata si è aperta con l'introduzione di Gerlando Cuffaro, presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catanzaro, che ha approfondito il significato dell'etica professionale nell'ingegneria contemporanea.

Diversi i temi affrontati nel corso dell'incontro formativo. Nel primo modulo, lo stesso Cuffaro ha illustrato l'importanza della deontologia e della

formazione permanente per i neo laureati, consegnando a ognuno di loro il Codice deontologico degli Ingegneri.

A seguire, nella seconda parte, il vicepresidente Giuseppe Stefanucci ha ripercorso l'evoluzione normativa della professione, dalla legge istitutiva del 1923 fino al recepimento del D.P.R. 137/2012 e all'attuale Codice Deontologico degli ingegneri italiani, analizzando ruolo dell'iscritto, funzioni dell'Ordine, compiti del Consiglio di Disciplina e cambiamenti introdotti dal 2014.

Nel terzo modulo, Silvia Gardini, avvocatessa e ricercatrice Umg in Diritto Amministrativo e Diritto dei Beni Culturali, ha approfondito il ruolo dell'ingegnere nei procedimenti amministrativi, con particolare riferimento al Responsabile Unico del Procedimento (RUP).



Infine, l'avvocato Massimo Gimigliano ha incentrato il suo intervento sull'illecito deontologico: classificazione delle violazioni, procedimenti disciplinari, contestazioni, sanzioni e diritti dell'iscritto nei vari gradi di giudizio.



Al termine dell'incontro, il presidente Cuffaro ha spiegato: «Il corso di deontologia è un passaggio obbligatorio, ma soprattutto un atto dovuto verso i

nostri giovani colleghi: qui si definisce la cornice valoriale entro cui esercitare la professione. Entrare oggi nel mondo dell'ingegneria significa affrontare un sistema complesso, in rapido cambiamento, dove senza un orientamento chiaro su doveri, diritti e responsabilità il rischio è ridurre la professione a una semplice prestazione tecnica. Noi, invece, intendiamo riaffermare che l'ingegnere è un presidio di qualità, sicurezza e innovazione per la collettività. Da quest'anno abbiamo scelto di affiancare al corso una festa di accoglienza, perché l'ingresso nell'Ordine deve essere anche un momento di appartenenza e di costruzione di una rete professionale solida. Il nostro obiettivo è dimostrare che far parte dell'Ordine è un vantaggio reale per crescere e valorizzare le proprie competenze. Deontologia, formazione e senso di comunità sono la base per trasformare la complessità in progresso». Il nuovo format del corso — che da quest'anno include anche una "festa dell'accoglienza" — diventerà un appuntamento stabile, pensato per accompagnare i giovani colleghi in un ingresso più consapevole nella comunità professionale.

L'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catanzaro conferma così il proprio impegno nel rafforzare la qualità dell'esercizio professionale, promuovendo un approccio basato su competenza, responsabilità ed etica: tre pilastri decisivi per affrontare le sfide tecnologiche e sociali dell'ingegneria del presente e del futuro.



# Aggiornamento Albo

a cura della Segreteria

## NUOVE ISCRIZIONI SEZIONE A

|            |                   |      |
|------------|-------------------|------|
| CALOMINO   | CAMILLA           | 3369 |
| ROMBOLA'   | DOMENICO          | 3370 |
|            | (pass. da B in A) |      |
| COSTA      | GIUSEPPE          | 3371 |
| MENDICINO  | GIOVANNA          | 3372 |
| DANIELE    | GIAMPIERO         | 3373 |
| BASILE     | SALVATORE         | 3374 |
| CURCIO     | ANTONIO           | 3375 |
| PERNA      | ILARIA            | 3376 |
| AMELIO     | AMANDA            | 3377 |
| GAGLIARDI  | ALESSIO           | 3378 |
| MAURO      | ANTONIO           | 3379 |
| ABIUSO     | SALVATORE         | 3380 |
|            | (pass. da B in A) |      |
| SCORDINO   | FRANCESCO         | 3381 |
| CALO'      | PAOLA             | 3382 |
| ROTELLA    | CATIA             | 3383 |
| MINIACI    | CHIARA            | 3384 |
| FROIO      | DAVIDE            | 3385 |
| DE SALAZAR | MARTINA           | 3386 |
| MERCURIO   | GIOVANNA          | 3387 |
| FAVIA      | COSIMO            | 3388 |
| PICCIONE   | DOMENICO          | 3389 |
| CRAPELLA   | MARCO             | 3390 |
| ROCCA      | DANILO            | 3391 |
| CURTO      | ROBERTA           | 3392 |
| LOPRETE    | MARIA BARBARA     | 3393 |
| TIMPANO    | GIUSEPPE          | 3394 |
| AMMIRATI   | FRANCESCA         | 3395 |
| PIRO       | GENNARO           | 3396 |
|            | (pass. da B in A) |      |
| GARIGLIANO | DAVIDE            | 3397 |
| VIRGILIO   | SARA              | 3398 |
| VESCIO     | GIOVANNI          | 3399 |
| NICOLETTA  | ANTONIO           | 3400 |
| FRANCESCO  | SALOMONE          | 3401 |
| GIACINTO   | CERRA             | 3402 |
| MOLINARO   | FABIO             | 3403 |

## NUOVE ISCRIZIONI SEZIONE B

|             |               |     |
|-------------|---------------|-----|
| MASTROIANNI | VALERIO G.NNI | 148 |
| PAONESSA    | SAVERIO       | 149 |
| RUSSO       | MARIO         | 150 |
| BUCCINNA'   | VIINCENZO     | 151 |
| MASTROIANNI | EMANUELE      | 152 |
| BELLINO     | LUCA MAURO    | 153 |

## TRASFERIMENTI

|                             |                |      |
|-----------------------------|----------------|------|
| CARDAMONE                   | UGO S. ROBERTO | 1426 |
| TRASF. ORDINE MONZA BRIANZA |                |      |

## CANCELLAZIONI PER DIMISSIONI

|              |                  |      |
|--------------|------------------|------|
| LEONE        | GIUSEPPE         | 2495 |
| VARONE       | ROSARIO          | 1047 |
| TALARICO     | FABIO            | 2739 |
| TORTORELLA   | PIERLUIGI        | 2421 |
| MACCHIONE    | CLAUDIA          | 3125 |
| CRITELLI     | ANTONIO          | 3319 |
| SANTOSTEFANO | ALESSANDRO       | 2187 |
| PALMIERI     | GIUSEPPE         | 2756 |
| FIMIANO      | FABIO            | 2874 |
| PIRRITANO    | RAFFAELLA        | 3194 |
| ROTELLA      | ANGELA           | 2117 |
| CALOIERO     | VALERIA DOMENICA | 2105 |
| SCHIPANI     | CARMELO          | 892  |
| SCARPINO     | MARIA ALESSANDRA | 2781 |
| VACCARO      | SIMONA           | 2951 |

## CANCELLAZIONI PER DECESSO

|           |           |      |
|-----------|-----------|------|
| CRUGLIANO | VINCENZO  | 2786 |
| CHIRIACO' | PIETRO    | 583  |
| FRONTINO  | RAFFAELE  | 845  |
| ISABELLA  | FRANCESCO | 996  |
| FULCINITI | AGAZIO    | 863  |
| BAVA      | SALVATORE | 2547 |
| BRUNI     | BRUNO     | 193  |
| ANGOTTI   | GIOVANNI  | 122  |



*Buon Natale  
e  
Felice  
Anno Nuovo*



ORDINE DEGLI **INGEGNERI**  
DELLA PROVINCIA DI **CATANZARO**

# Tipolitografia **graficherre** di Francesco Raffaele

Via Tripoli, 3 - 88100 Catanzaro

Tel. 0961721805 - 3389913570

[graficherre@libero.it](mailto:graficherre@libero.it) - [graficherre@pec.it](mailto:graficherre@pec.it)



Stampati commerciali  
Stampa digitale - Editoria  
Riviste - Deplianti - Manifesti  
Partecipazioni di nozze  
Tesi di laurea  
Biglietti da visita  
Timbri



La vostra soddisfazione...  
... il nostro orgoglio!

