ANNO LXXI - LUGLIO/AGOSTO 2026

ISSN 2421-0889

RASSEGNA TECNICA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA

rt
NUOVA SERIE

408

IN QUESTO NUMERO

Dall'esperienza di una tragica calamità naturale l'imput per sviluppare competenze innovative
Agentic AI per la gestione delle emergenze
Il caso studio di Grado
Il ruolo della Regione nella transizione elettrica nazionale
Attività ingegneristica e innovazione
Navier-Stokes, il problema del millennio e il contributo dell'IA
Friuli. Terremoto e ricostruzione. Il contributo dei tecnici, 1976-2026



POSTE ITALIANE S.p.A. - Spedizione in abbonamento postale - D.L. 353/2003 (L. 46/2004) art. 1, comma 1, DCB UDINE

ASSOCIAZIONE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI UDINE

L'atto costitutivo della Associazione Ingegneri della Provincia di Udine risale al 25 marzo 1961 e da allora opera con veste di Personalità giuridica, dotata di proprio statuto. Documenti conservati nell'archivio dell'Ordine degli Ingegneri di Udine e presso la biblioteca civica "Vincenzo Joppi" attestano che nella provincia udinese era presente, fin dall'immediato dopoguerra, una istituzione rappresentativa degli ingegneri denominata "Ordine e Associazione degli Ingegneri della Provincia di Udine".

Nel corso degli anni l'Associazione è stata presieduta dagli ingegneri:
- Carlo Gaggia, fino al 1960;
- Mario Bosco,1960-1961;
- Gastone Conti, 1962-1973;
- Giorgio Stroppolatini, 1973-1974;
- Michele Gubana, 1974-1991;
- Gaetano Cola, 1991-1995;
- Maurizio Asquini, 1995-1999;
- Marino Donada, 1999-2017;
- Giancarlo Saro, dal 2017.

Il Consiglio direttivo dell'Associazione, votato nell'assemblea generale del 20 aprile 2024 e in carica per il triennio 2024-2026, è composto da:
- ingegnere Giancarlo Saro, presidente
- ingegnere Roberto Lago, vicepresidente
- ingegnere Pietro Paulon, vicepresidente
- ingegnere Fabrizio Cimenti, segretario
- ingegnere Paolo Mantoani, tesoriere
- ingegnere Marcello Bonioli, consigliere
- ingegnere Nicola Corrubolo, consigliere
- ingegnere Adriano Mansutti, consigliere
- ingegnere Elena Moro, consigliere
- professore ingegnere Stefano Del Giudice, consigliere cooptato
- ingegnere Marino Donada, consigliere cooptato
- avvocato Giacomo Biasutti, revisore dei conti
- ingegnere Vincenzo Facchin, revisore dei conti.

L'Associazione è apartitica e senza scopo di lucro ed è iscritta al n. 937 del Registro regionale delle associazioni di Promozione sociale.
L'Associazione principalmente opera per:
- tutelare la figura dell'ingegnere e il suo ruolo nella professione e nella società;
- promuovere studi, convegni, conferenze su problemi di carattere tecnico, scientifico e culturale su tutti i campi dell'ingegneria, anche attivando corsi formativi e di aggiornamento tecnico, in accordo con gli Ordini Professionali e/o gli Enti accreditati dal Consiglio Nazionale Ingegneri;
- promuovere e organizzare visite tecniche e di studio a cantieri e a realtà produttive in Italia e all'estero;
- intrattenere rapporti e promuovere collaborazioni con Università ed Enti scientifici a beneficio dei propri associati;
- essere un punto di riferimento per tutti i laureati in ingegneria che intendono far parte attiva di una associazione che si propone di tutelare e valorizzare tutte le competenze ingegneristiche.

L'Associazione ha sede a Udine, via Monte San Marco 56;
posta elettronica: segreteria@associazioneingegneriudine.it;
associazioneingegneriudine@pec.it.
Sul sito www.associazioneingegneriudine.it sono reperibili ulteriori informazioni e lo statuto.

associazione ingegneri e architetti della provincia di pordenone
piazzetta Ado Furlan 2|8
33170 pordenone
t. 0434 550250 | f. 0434 551229
associazione@ordineingegneri.pn.it

L'Associazione degli Ingegneri del Circondario di Pordenone è stata istituita nel 1966, anticipando la creazione della Provincia di Pordenone. Successivamente assume il nome di «Associazione Ingegneri e Architetti della Provincia di Pordenone» e possono associarsi gli iscritti agli Ordini degli Ingegneri, degli Architetti, dei Geologi, degli Agronomi e Forestali e agli Ordini di tutte le altre professioni tecnico/scientifiche del territorio nazionale.

L'Associazione degli Ingegneri e Architetti della Provincia di Pordenone è stata presieduta da:
ing. Mario Marzin, 1966-1968;
ing. Frediano Pegolo, 1968-1973:
ing. Zeno Biondo, 1973-1980;
ing. Pietro Cescutti, 1980-1983;
ing. Tito Pasqualis, 1983-1986;
ing. Ivano Bordugo, 1986-1989;
ing. Frediano Pegolo, 1989-1992;
ing. Alberto Scorrano, 1992-1994;
ing. Ottorino Argentieri, 1995-2003;
ing. Nino Aprilis, 2003-2009;
ing. Matteo Bordugo, 2009-2013;
ing. Nino Aprilis, 2013-2015;
ing. Andrea Sarcinelli, 2015-2019;
ing. Nino Aprilis, dal 2019.

L'Associazione è senza scopo di lucro e si propone di promuovere e di svolgere tutte le attività atte a tutelare e valorizzare l'opera e la professionalità degli associati, elevandone le funzioni e il prestigio in campo tecnico, economico e sociale e, non ultimo, tutelare i titoli accademici e professionali anche per l'inserimento nel contesto professionale europeo, mediante:
- la preparazione culturale e professionale degli associati, agevolandoli nella conoscenza del progresso delle Scienze e della Tecnica, facilitandoli nella partecipazione a convegni culturali ed a visite informative;
- la promozione di studi e proposte su questione tecniche;
- la collaborazione alla formazione dei futuri professionisti, facendoli partecipare alla vita culturale dell'associazione e assistendoli nella scelta delle loro specializzazioni e attività future;
- la collaborazione al perfezionamento e all'addestramento dei tecnici e delle maestranze.

L'Associazione è comproprietaria della rivista periodica "Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia" che viene distribuita agli iscritti agli Ordini degli Ingegneri della Regione.

L'Associazione ha sede a Pordenone, piazzetta Ado Furlan 2/8;
telefono +39 0434 550250
fax +39 0434 551229;
posta elettronica: associazione@ordineingegneri.pn.it.

RASSEGNA TECNICA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA

rt
NUOVA SERIE

408

ANNO LXXI - LUGLIO/AGOSTO 2026

DIREZIONE
GIORGIO DRI Direttore responsabile

REDAZIONE DELLA RASSEGNA TECNICA
Elisabeth Antonaglia, Roberto Carollo, Vittorio Drigo,
Alessandro Gasparetto, Marco Giacomini, Daniele Goi,
Giuseppe Longo, Elio Padoano,
Carlo Tomaso Parmegiani, Alex Tuan

EDITORE E PROPRIETARIO
Rassegna tecnica del Friuli Venezia Giulia s.r.l.
33100 Udine, via Monte San Marco, 56
C.F. e P. IVA n. 01339660308

CONSIGLIO DI AMMINISTRAZIONE
Presidente: Pietro Paulon
Consiglieri: Antonino Colussi, Marino Donada, Vittorio Drigo,
Adriano Mansutti, Andrea Sarcinelli

SEDE
33100 Udine - via Monte San Marco, 56
e-mail: info@rassegnatecnicafvg.it
web: www.rassegnatecnicafvg.it

PERIODICITÀ
4 numeri bimestrali
1 numero quadrimestrale con contenuto monografico

STAMPA
Cartostampa Chiandetti
33010 Reana del Rojale (UD) - via Vittorio Veneto
tel. 0432 857054 - fax 0432 857712
e-mail: info@chiandetti.it

REGISTRAZIONI
Tribunale Udine n. 245 del 17.1.1970
Iscrizione al R.O.C. n. 1747

ISSN 2421-0889

Associato all'USPI
Unione Stampa Periodica Italiana

SOMMARIO

2 **Notizie flash**

4 **Dall'esperienza di una tragica calamità naturale l'imput per sviluppare competenze innovative**
CARLO TOMASO PARMEGIANI

8 **Agentic AI per la gestione delle emergenze**
MARCO GIACOMINI

16 **Il caso studio di Grado**
GIUSEPPE MAZZARA, ROBERTO PERIN, ELIA ARNONE, DANIELE GOI, PIERPAOLO BRAIDOTTI, FRANCESCO PERATONER

22 **Il ruolo della Regione nella transizione elettrica nazionale**
PIETRO PAULON

26 **Attività ingegneristica e innovazione**
ANTONIO IULIANO

30 **Navier-Stokes, il problema del millennio e il contributo dell'IA**
ALEX TUAN

35 **Friuli. Terremoto e ricostruzione. Il contributo dei tecnici, 1976-2026**

La rivista si riceve solo per abbonamento.
L'abbonamento annuo ordinario è di € 15,00 (costo copia € 3,00).
Modalità di pagamento: bonifico su c/c della BCC Banca di Udine,
sede di Udine, viale Tricesimo 85 (IBAN IT67F 08715 12300 000000736264),
intestato a Rassegna tecnica del Friuli Venezia Giulia srl.
L'abbonamento annuo per gli iscritti agli albi professionali
degli Ingegneri della regione Friuli Venezia Giulia è ridotto a € 10,00.

La pubblicazione di una memoria non implica riconoscimento
o approvazione dei giudizi espressi dagli autori.
Gli originali dei testi, i disegni e le fotografie, anche se non pubblicati,
non si restituiscono, salvo preventivi accordi con la direzione.

In copertina:
Opere provvisionali di puntellatura
di edifici lesionati dal sisma del 1976
(ufficio Video Documentazione, Vigili del Fuoco, Udine)

NOTIZIE FLASH

FRIULI VENEZIA GIULIA: UN SATELLITE SORVEGLIA IL TERRITORIO CON L'OBIETTIVO DI CONOSCERE E DIFENDERE L'AMBIENTE URBANO E NATURALE

Alla periferia di una città della regione, nell'arco di pochi anni, un prato è diventato un parcheggio asfaltato: a documentarlo non è stato un funzionario comunale in sopralluogo, ma un satellite in orbita a centinaia di chilometri dalla Terra. È uno dei casi concreti che Insiel è in grado di ottenere attraverso il progetto *Analisi con immagini da satellite attraverso EagleFvg,* finanziato dal Pnrr nell'ambito del programma Edih-Pai. Il sistema osserva il territorio quotidianamente attraverso immagini satellitari elaborate automaticamente e integrate nella piattaforma geografica EagleFvg.
L'obiettivo è trasformarle in strumenti decisionali concreti: algoritmi di intelligenza artificiale analizzano le variazioni del territorio nel tempo, segnalando dove il suolo si impermeabilizza, la vegetazione è sotto stress, un'alluvione ha allagato i campi.
Le potenzialità della conoscenza delle immagini satellitari è enorme perché consente di capire come, ad esempio, evolve l'erosione delle coste e quindi evidenzia la necessità di realizzare opere di difesa a mare.
Analogamente la conoscenza di come si sviluppa l'urbanizzazione nei centri abitati permetterà di intervenire per limitare, ad esempio, il consumo di suolo.
La tecnologia chiave si chiama "change detection": il sistema confronta immagini acquisite in periodi diversi e identifica automaticamente le variazioni. I punti di forza del sistema si riassumono in due parole: velocità e semplicità. Infatti, aggiornare il quadro territoriale ogni giorno significa avere dati certi su cui basare le decisioni. Attualmente il sistema è progettato e messo in atto è condiviso tra 23 enti: i quattro capoluoghi, altri quindici Comuni, il Parco agroalimentare Fvg, l'Organismo pagatore regionale e l'Agenzia per lo sviluppo rurale.
Tra i casi d'uso documentati ci sono aree agricole su cui sono stati costruiti capannoni, terreni verdi diventati insediamenti residenziali, ma anche superfici su cui sono stati installati pannelli fotovoltaici. Le applicazioni vanno ben oltre il controllo edilizio. A novembre 2025 le immagini satellitari hanno mappato in tempo reale le alluvioni nel Goriziano e i flussi di sedimenti verso il mare. Gli incendi del Carso del 2022 sono stati perimetrati con precisione, determinando le relative superfici.
Il sistema monitora anche i livelli idrici del lago di Sauris e la salute delle colture agricole. La sperimentazione ha anche prodotto dati sull'impermeabilizzazione del suolo: nel 2020 la città di Gorizia era arrivata al 25%, Pordenone al 32%, Udine al 70%. Il tutto si inserisce nel quadro della Direttiva Ue 2025/2360, che impone sistemi di monitoraggio del suolo entro il 2050: il Fvg è in anticipo.



TORVISCOSA: PARTECIPA ALLA RETE DELLE CITTÀ DEL NOVECENTO

La "Rete delle Città di Fondazione-Città del Novecento" è ufficialmente nata con il protocollo sottoscritto ad Alghero: tra di loro c'è anche Torviscosa. Per un Comune piccolo, come Torviscosa, è un onore partecipare a questa importante iniziativa nazionale che stimolerà ancor più la promozione e valorizzazione della cittadina friulana. La firma è avvenuta nel corso delle celebrazioni per il 90° anniversario della fondazione di Fertilia, città creata nel 1938 con la posa della prima pietra della chiesa parrocchiale. La città sarda venne tenuta a battesimo dall'Ente ferrarese di colonizzazione che in terra sarda trovò uno sbocco lavorativo alla popolazione della provincia di Ferrara. Due diverse vicende collegano Fertilia alla nostra regione: durante la Seconda guerra mondiale essa divenne un campo di concentramento per persone slave e nel secondo dopoguerra la borgata ospitò gli esuli istriani e dalmati, tanto che oggi non desta alcuna sorpresa sentire gli abitanti parlare il dialetto veneto con contaminazioni slave.
Le città di fondazione, dette anche "company town", sono centri urbani in cui tutti o la maggior parte degli immobili (edifici, servizi pubblici e attrezzature collettive) sono di proprietà pubblica o di una singola azienda che sovrintende alla pianificazione urbana.



MONFALCONE:
ALLA FINCANTIERI OPERATIVE DA OTTOBRE DUE NUOVE MAXI-GRU



Due nuove maxi-gru Goliath destinate allo stabilimento Fincantieri di Panzano sono arrivate a Monfalcone dopo un trasporto marittimo eccezionale durato circa 14 ore, viaggiando su una chiatta battente bandiera norvegese dalle dimensioni notevoli: 150 metri di lunghezza e 40 di larghezza. Eccezionali sono anche le dimensioni della maxi-gru: altezza 103 con uno sbraccio di quasi 140. Particolarmente delicato e complesso è stato poi il trasferimento dalla chiatta alla terraferma. Le due Goliath garantiranno una capacità di sollevamento in tandem di 1.600 tonnellate consentendo l'assemblaggio di blocchi navali sempre più grandi direttamente in banchina, riducendo tempi di costruzione, movimentazioni intermedie e aumentando l'efficienza dell'intero ciclo produttivo.
Le maxi-gru, che saranno operative entro la fine di ottobre, saranno destinate infatti alla produzione della nave Carnival Destiny, il cui taglio della lamiera è avvenuto a luglio all'officina 279 di Panzano.

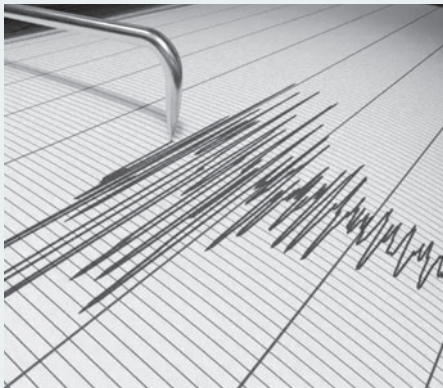
COMUNE DI UDINE:
COME CONOSCERE LA POTENZIALITÀ DI PRODUZIONE DI ENERGIA FOTOVOLTAICA DEL PROPRIO EDIFICIO

Il Comune di Udine lancia il nuovo Catasto Solare, una piattaforma digitale che permette di conoscere il potenziale di produzione di energia fotovoltaica di ogni edificio della città. Lo strumento è consultabile all'indirizzo *solar4ce.comune.udine.it* ed è stato realizzato nell'ambito del progetto europeo Solar4CE-Cities. Con il Catasto Solare viene messo a disposizione dei cittadini uno strumento per partecipare da protagonisti alla transizione energetica. Questo strumento è una mappa interattiva del territorio comunale che analizza i tetti degli edifici e stima la quantità di energia elettrica producibile attraverso l'installazione di pannelli fotovoltaici. Incrociando dati relativi alla superficie, all'orientamento e all'inclinazione delle coperture con quelli sull'irraggiamento solare, la piattaforma restituisce una valutazione immediata delle potenzialità di ciascun immobile, guidando in un certo senso la scelta della eventuale installazione dei pannelli.
La novità messa a punto a Udine consiste nella possibilità di passare da una rappresentazione generale e statica del territorio a uno strumento digitale consultabile edificio per edificio. I cittadini possono così ottenere una prima indicazione concreta sull'idoneità del proprio tetto, mentre il Comune dispone di una base informativa utile per programmare le politiche energetiche e favorire la nascita di Comunità energetiche rinnovabili e altre forme di condivisione dell'energia. L'iniziativa del Catasto solare rientra nelle politiche energetiche e ambientali portate avanti dal Comune attraverso il Piano d'azione per l'energia sostenibile e il clima, che prevede una riduzione del 40% delle emissioni di CO_2 entro il 2030. Il catasto infatti affianca gli interventi per ampliare gli impianti fotovoltaici comunali, promuovere l'autoconsumo diffuso e sostenere lo sviluppo delle realtà energetiche rinnovabili.



PALMANOVA:
LA PROTEZIONE CIVILE DEDICA UNA SALA ALL'ON. ZAMBERLETTI

Con una semplice cerimonia, che si è svolta in occasione della Giornata internazionale per la Riduzione del rischio dei disastri, la sala Ottagonale del Centro operativo regionale della Protezione civile è stata intitolata all'onorevole Giuseppe Zamberletti. La sua figura è intimamente legata alle vicende di cinquant'anni fa in Friuli, quando venne nominato Commissario straordinario governativo alla gestione delle emergenze derivanti dai terremoti di maggio e di settembre.
Nell'occasione, a Palmanova, oltre all'omaggio dedicato all'ideatore della Protezione civile, è stata inaugurata la mostra itinerante "Terremoti d'Italia", realizzata dal Dipartimento nazionale della Protezione civile. Questa iniziativa si configura come un percorso educativo e interattivo dedicato alla conoscenza del rischio sismico e alla diffusione della cultura della prevenzione e persegue l'obiettivo di sensibilizzare i visitatori sull'importanza della prevenzione. In pratica, posto che al momento non è possibile prevedere i terremoti, è importante diffondere la conoscenza di come si possono ridurne gli effetti provocati dal terremoto attraverso la conoscenza del fenomeno, la memoria storica, l'adozione di comportamenti corretti e l'impiego di tecnologie e tecniche costruttive antisismiche. Il percorso espositivo è arricchito da strumentazioni storiche e due simulatori sismici appositamente progettati per far provare i movimenti della terra in totale sicurezza.



Dall'esperienza di una tragica calamità naturale l'imput per sviluppare competenze innovative

A cinquant'anni dal terremoto che il 6 maggio 1976 colpì il Friuli, il ruolo svolto dai vigili del fuoco continua a rappresentare una delle componenti essenziali di quella straordinaria risposta all'emergenza che avrebbe, poi, contribuito alla nascita dell'attuale sistema nazionale di Protezione civile. Le immagini dei soccorsi tra le macerie, delle colonne mobili arrivate da tutta Italia e dell'opera congiunta di vigili del fuoco, alpini e istituzioni locali appartengono ormai alla memoria collettiva della nostra regione. Da quell'esperienza, si è evoluto un sistema di soccorso oggi altamente specializzato, capace di operare in ambito nazionale ed europeo attraverso tecnologie, procedure e competenze impensabili mezzo secolo fa.

A ripercorrere questa trasformazione è l'ingegner Alessandra Bascià, comandante provinciale dei vigili del fuoco di Udine. La comandante racconta con passione l'evoluzione del Corpo che ha mantenuto immutata la propria missione di "soccorso tecnico urgente", adattandosi però ai profondi cambiamenti del territorio, delle tecnologie e dei rischi. Se nel 1976 la sfida era rappresentata soprattutto dal terremoto (oltre che dagli incendi, storico primo settore di intervento dei pompieri), oggi gli operatori dei VVFF, visti anche i cambiamenti climatici in atto, si confrontano con alluvioni, estesi incendi boschivi, dissesto idrogeologico, incidenti complessi ed eventi meteorologici estremi che richiedono una preparazione sempre più articolata.

L'evoluzione per i vigili del fuoco non riguarda soltanto i mezzi e le attrezzature. Negli anni, infatti, si sono rafforzati i rapporti con il mondo universitario e professionale, sono nate nuove specializzazioni, si sono diffusi sistemi avanzati di comunicazione e si è sviluppata una cultura della prevenzione che coinvolge cittadini, amministrazioni, tecnici e volontariato. In questo percorso il Friuli ha svolto un ruolo particolare, trasformando l'esperienza di una tragedia in un patrimonio di conoscenze e competenze che continua ancora oggi a produrre innovazione. Non è un caso che molte delle soluzioni sviluppate per affrontare le conseguenze dei terremoti abbiano trovato applicazione ben oltre i confini regionali. Le tecniche di messa in sicurezza degli edifici danneggiati, le procedure per la gestione delle emergenze e la collaborazione tra soccorritori, università e professionisti sono diventate negli anni elementi strutturali di un modello riconosciuto a livello nazionale. Un modello che continua a evolversi e che confrontandosi con sfide nuove, non perde di vista il proprio obiettivo fondamentale: garantire la sicurezza delle persone e delle comunità.

Comandante Bascià, quale ricordo conserva oggi il Corpo dei vigili del fuoco del terremoto del Friuli del 1976?

È un ricordo ancora molto vivo. Alcuni di coloro che parteciparono direttamente ai soccorsi non sono più in servizio, ma molti continuano a collaborare attraverso l'Associazione nazionale dei vigili del fuoco e rappresentano una preziosa memoria storica. Inoltre, tanti di noi, pur non essendo allora operativi, vissero il terremoto come cittadini friulani. Si tratta di un'esperienza che ancora oggi viene trasmessa alle nuove generazioni e che ha contribuito a formare l'identità stessa del sistema di soccorso italiano.

Perché il terremoto del Friuli è spesso indicato come una tappa fondamentale nella nascita della moderna Protezione civile?

Perché quell'esperienza contribuì a definire un modello organizzativo che si è poi consolidato negli anni successivi. In Friuli operarono fianco a fianco la struttura commissariale guidata da Giuseppe Zamberletti, i vigili del fuoco e gli alpini. Da quella gestione dell'emergenza nacquero molte delle riflessioni che hanno poi portato alla costruzione dell'attuale sistema nazionale di Protezione civile. Fu un momento di crescita collettiva per tutto il Paese e dimostrò quanto fosse importante disporre di una capacità di coordinamento stabile e permanente.

Come avvenne l'intervento dei vigili del fuoco nelle prime ore dopo il sisma?

Molte cose erano diverse rispetto a oggi. Le comunicazioni erano più limitate e la disponibilità di informazioni era ridotta. Uno degli episodi che raccontiamo spesso riguarda il funzionario di servizio quella notte, Giorgio Godina. Dopo aver percepito la scossa e constatato l'assenza di telefonate, intuì che il problema poteva essere proprio l'interruzione delle comunicazioni e, sapendo che in Friuli i terremoti colpiscono più frequentemente il Nord della regione, decise di partire immediatamente verso l'area montana per verificare la situazione. Oggi disponiamo di procedure e strumenti molto più evoluti,



Alessandra Bascià è nata a Milano.
Ingegnere Idraulico, dopo alcuni anni trascorsi in attività di ricerca e didattica universitarie, è entrata nel Corpo Nazionale dei vigili del fuoco nel 2004.
Per oltre vent'anni ha prestato servizio come Funzionario tecnico al Comando dei vigili del fuoco di Venezia, occupandosi, fra l'altro, del soccorso tecnico in ambito lagunare e di Prevenzione incendi.
Ha partecipato, come di consueto, alle diverse calamità nazionali succedutesi nei recenti anni.
È stata componente dei gruppi di studio nazionali che hanno portato, nel 2015, alla rielaborazione della Normativa tecnica in materia di Prevenzione incendi, con l'emanazione del Codice di Prevenzione Incendi.
Dal 2024 è Primo Dirigente, inizialmente assegnata come Comandante a Rovigo. Dal febbraio del 2026 è il Comandante dei vigili del fuoco di Udine.

ma resta immutata la capacità di iniziativa e di assunzione di responsabilità che caratterizza il personale operativo.

Cosa distingue oggi il Corpo dei vigili del fuoco rispetto alla realtà di cinquant'anni fa?
La missione è rimasta la stessa: garantire il soccorso tecnico urgente. Sono però profondamente cambiati gli strumenti e l'organizzazione. Oggi operiamo all'interno di un sistema nazionale strutturato, con procedure uniformi, specializzazioni avanzate e una forte capacità di coordinamento. La standardizzazione delle modalità operative consente a squadre provenienti da territori diversi di lavorare immediatamente insieme senza difficoltà. Questo rappresenta uno dei principali punti di forza del sistema italiano.

Quanto hanno inciso le innovazioni tecnologiche sulle attività di soccorso?
Moltissimo. La differenza non riguarda soltanto i mezzi, ma soprattutto le attrezzature e le tecniche operative. Oggi disponiamo di unità cinofile specializzate, sistemi avanzati per la ricerca sotto le macerie, strumenti per la stabilizzazione delle strutture danneggiate e procedure specifiche per operare in sicurezza durante le repliche sismiche. Sono stati compiuti enormi progressi nella capacità di individuare rapidamente le persone coinvolte e di garantire la sicurezza degli operatori.

Anche le comunicazioni rappresentano un settore profondamente trasformato?
Certamente. Nel 1976 la disponibilità di informazioni era una delle principali criticità. Oggi disponiamo di reti radio dedicate, canali operativi specifici, sistemi satellitari e personale altamente specializzato nelle telecomunicazioni. In caso di emergenza abbiamo reti autonome di comunicazione, anche in scenari nei quali le infrastrutture tradizionali risultano compromesse. La rapidità e l'affidabilità dello scambio di informazioni costituiscono infatti uno degli elementi più importanti per l'efficacia degli interventi.

Com'è cambiata nel tempo la gestione delle grandi emergenze?
Oggi esistono procedure molto più strutturate. In eventi di grandi dimensioni è necessario definire delle priorità e indirizzare le risorse dove possono produrre il maggiore beneficio. È un principio che vale nei terremoti, nelle alluvioni e in tutte le calamità estese. La difficoltà non consiste soltanto nell'intervenire, ma anche nel valutare rapidamente dove e come intervenire per primi. È un'attività che richiede preparazione, esperienza e capacità organizzativa. La risposta non potrà mai essere simultanea in ogni punto di un territorio colpito; per questo è fondamentale disporre di criteri chiari e condivisi di gestione delle priorità. L'apporto dei volontari, la spinta di solidarietà delle persone, rimangono fondamentali, ma sono inquadrate meglio, anche per evitare che "l'improvvisazione" finisca per mettere in pericolo le stesse persone che accorrono per soccorrere le popolazioni colpite.

Qual è oggi il ruolo degli ingegneri all'interno del Corpo nazionale dei vigili del fuoco?
È un ruolo centrale. La definizione stessa di "soccorso tecnico urgente" evidenzia la forte componente tecnica della nostra attività. Per questo le responsabilità dirigenziali sul territorio e nelle strutture operative sono affidate prevalentemente a ingegneri e architetti. Le competenze tecniche sono fondamentali non soltanto nella prevenzione incendi, ma anche nella gestione delle emergenze, nelle verifiche di sicurezza, nella pianificazione e nei procedimenti relativi ai grandi rischi industriali. Storicamente il Corpo nazionale ha scelto di collocare figure con formazione tecnica nei livelli decisionali legati al soccorso. Questo consente di affrontare con un approccio rigoroso problematiche molto diverse tra loro: la stabilità di un edificio danneggiato, l'analisi di un'attività soggetta a prevenzione incendi, la valutazione di rischi complessi o la gestione di emergenze che coinvolgono infrastrutture particolarmente sensibili. L'ingegnere non interviene soltanto dopo l'evento emergenziale, ma partecipa all'intero ciclo della sicurezza. Dalla prevenzione alla pianificazione, dalla formazione alle verifiche post-evento, il contributo tecnico rappresenta uno degli elementi distintivi del sistema italiano rispetto a molte altre realtà internazionali.

Quali sono invece i rapporti con gli Ordini professionali e con gli ingegneri che operano sul territorio?
Sono rapporti storicamente molto stretti e rappresentano una delle risorse più importanti del sistema. Nelle emergenze, nelle verifiche post-sisma e nelle attività di formazione collaboriamo costantemente con professionisti, Università ed enti locali. Dopo i terremoti e gli altri eventi calamitosi gli ingegneri degli ordini professionali hanno spesso costituito vere e proprie task force che hanno affiancato le strutture operative nelle verifiche di agibilità e nella valutazione dello stato degli edifici. Questa collaborazione non si limita però alle sole situazioni emergenziali. Esiste un confronto continuo anche in tempo ordinario, attraverso attività di aggiornamento, esercitazioni e percorsi formativi. Quando si affrontano temi quali la sicurezza strutturale, la prevenzione incendi o la gestione delle emergenze, il contributo dei professionisti diventa essenziale. Il Friuli Venezia Giulia rappresenta un esempio particolarmente significativo di questa sinergia. L'esperienza maturata dopo il terremoto del 1976 ha favorito la nascita di rapporti stabili tra Corpo nazionale, Università di Udine, professionisti e amministrazioni locali. La Serm (Safety and Emergency Response Management) Academy e il campo esercitativo di Portis Vecchio costituiscono esempi concreti di questa collaborazione. Una delle esperienze più significative riguarda inoltre la definizione di tecniche e opere provvisionali per la messa in sicurezza degli edifici danneggiati. Puntellamenti, strutture temporanee e sistemi di consolidamento sviluppati grazie alla collaborazione tra vigili del fuoco, Università e professionisti rappresentano oggi un patrimonio di conoscenze riconosciuto a livello nazionale.

Esistono competenze nelle quali i vigili del fuoco italiani sono particolarmente apprezzati a livello internazionale?
L'esperienza maturata nella gestione delle emergenze sismiche ci viene sicuramente riconosciuta. L'Italia è un Paese che ha dovuto confrontarsi più volte con terremoti importanti e questo ha portato allo sviluppo di competenze molto avanzate. Uno dei settori nei quali siamo particolarmente qualificati riguarda proprio la messa in sicurezza degli edifici danneggiati e del patrimonio storico e culturale. È un ambito nel quale la collaborazione tra soccorritori e tecnici ha prodotto risultati importanti e nel quale l'esperienza italiana è spesso guardata con interesse all'estero.

Il cambiamento climatico sta modificando il vostro lavoro?
Sta certamente influenzando le tipologie di intervento e le attività formative. Negli ultimi anni abbiamo visto crescere l'attenzione verso gli eventi alluvionali e gli scenari connessi all'acqua. Per questo il personale acquisisce sempre più frequentemente brevetti specifici e competenze dedicate alle operazioni in ambien-



te allagato o in condizioni idrauliche complesse. Più che generare preoccupazione, questi cambiamenti ci spingono a rivedere continuamente addestramento e preparazione. Se il terremoto continua a rappresentare uno degli scenari di riferimento per il sistema di protezione civile italiano, oggi assistiamo a una crescente frequenza di eventi che interessano aree molto vaste del territorio. Le alluvioni, ad esempio, possono coinvolgere contemporaneamente numerosi comuni, richiedere risorse specialistiche e protrarsi per diversi giorni. Questo impone una capacità organizzativa sempre maggiore e una continua attenzione alla formazione del personale. Anche gli incendi boschivi e di interfaccia (cioè quelli che dai boschi si estendono agli edifici civili e produttivi, *ndr*) stanno assumendo una rilevanza crescente. Si tratta di scenari nei quali l'incendio interessa contemporaneamente ambiente naturale, centri abitati, attività produttive e infrastrutture, richiedendo quindi competenze che vanno oltre il tradizionale spegnimento delle fiamme.

Quanto conta oggi la dimensione europea nella gestione delle emergenze?
Molto. Attraverso il sistema nazionale di Protezione civile l'Italia partecipa al Meccanismo europeo di protezione civile e alle attività di cooperazione internazionale. Esistono inoltre accordi specifici nelle zone di confine e numerose esercitazioni congiunte. Ciò consente di affrontare le emergenze contando su una rete di collaborazione che supera i confini nazionali. Per un territorio come il Friuli Venezia Giulia, che vive quotidianamente la dimensione transfrontaliera, questo aspetto assume un valore particolare.

Negli anni è cresciuta anche la cultura della prevenzione?
Credo di sì. Molte pratiche di sicurezza che oggi consideriamo normali sono entrate progressivamente nel patrimonio culturale della popolazione. Tuttavia, non bisogna mai abbassare la guardia. Ogni nuova generazione deve essere educata alla sicurezza e alla prevenzione. Per questo dedichiamo grande attenzione alle attività nelle scuole e ai progetti rivolti ai bambini, che spesso diventano a loro volta veicoli di consapevolezza all'interno delle famiglie. La prevenzione non riguarda soltanto le grandi opere o le normative tecniche. Molto spesso passa attraverso comportamenti quotidiani, dalla corretta gestione degli impianti domestici alla conoscenza dei rischi legati al monossido di carbonio, fino all'adozione di pratiche corrette in caso di emergenza. Sono aspetti che possono sembrare semplici, ma che in molte occasioni fanno la differenza.

I vigili del fuoco continuano a essere una delle istituzioni più apprezzate dai cittadini: come se lo spiega?
Probabilmente perché nella maggior parte dei casi interveniamo per risolvere un problema. Entriamo in contatto con le persone in momenti spesso molto difficili, ma il nostro compito è portare aiuto. Inoltre, il lavoro di squadra crea relazioni umane molto forti all'interno del Corpo e contribuisce a mantenere vivo quello spirito di servizio che rappresenta da sempre una delle caratteristiche fondamentali dei vigili del fuoco.

A cinquant'anni dal terremoto del Friuli, quale insegnamento ritiene ancora attuale?
La consapevolezza che la sicurezza è una responsabilità condivisa. Servono soccorritori preparati, ma servono anche cittadini informati, professionisti competenti, amministrazioni efficienti e una cultura diffusa della prevenzione. L'esperienza del 1976 ci ricorda che dalle grandi emergenze possono nascere competenze e strumenti capaci di rendere più sicure le comunità. È un patrimonio che il Friuli ha saputo costruire nel tempo e che continua ancora oggi a rappresentare un riferimento importante per il futuro.

A CINQUANT'ANNI DAL TERREMOTO DEL FRIULI:
COME AFFRONTEREMMO OGGI I PROBLEMI DELL'EMERGENZA E DELLA RICOSTRUZIONE?

Agentic AI per la gestione delle emergenze

MARCO GIACOMINI, ingegnere, CEO Real Comm SBU Manager Artificial intelligence – Polo Tecnologico Alto Adriatico

L'articolo sviluppa la relazione presentata all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pordenone in occasione del 50° anniversario del terremoto del Friuli. Dopo un confronto tra i quattro paradigmi software – algoritmi classici, IA tradizionale, IA generativa e Agentic AI – si approfondiscono le reti neurali convoluzionali per l'analisi delle immagini del danno, l'architettura di un agente AI e l'impiego di sistemi multi-agente lungo l'intero ciclo dell'emergenza. Seguono quattro casi reali, l'analisi dei limiti tecnici e del quadro regolatorio (AI Act) e alcune considerazioni sul ruolo professionale dell'ingegnere.

Cinquant'anni dopo: una domanda da ingegneri

La sera del 6 maggio 1976, alle ore 21:00, una scossa di magnitudo momento $M_w \approx 6{,}4$ colpì il Friuli centrale. Il bilancio fu di quasi mille vittime e di decine di migliaia di senzatetto; il nuovo terremoto di settembre aggravò ulteriormente un quadro già drammatico. La risposta che ne seguì - il cosiddetto 'modello Friuli', fondato sulla delega operativa ai sindaci, su un coordinamento commissariale unitario e su una ricostruzione condotta 'dov'era e com'era' - è entrata nella storia come un esempio di eccellenza organizzativa ed è all'origine della moderna Protezione Civile italiana.

Eppure, da un punto di vista strettamente informativo, il 1976 fu un'emergenza gestita 'al buio'. Le linee telefoniche erano in larga parte interrotte, un ruolo essenziale fu svolto dai radioamatori, le ricognizioni del danno furono condotte a vista e le decisioni dei diversi enti vennero prese su quadri informativi parziali, aggiornati con tempi di ore o di giorni. Il problema non era la mancanza di competenza, ma la *latenza* e la *frammentazione* dell'informazione.

Cinquant'anni dopo, la domanda che un ingegnere può legittimamente porsi è: come progetteremmo oggi quel sistema? Disponiamo di reti dense di sensori, di immagini satellitari gratuite ad alta frequenza di aggiornamento, di droni, di sistemi GIS e – novità degli ultimi anni – di modelli linguistici capaci di pianificare e di invocare strumenti software.

Questo articolo prova a rispondere alla domanda posta seguendo un percorso graduale: dagli algoritmi classici alle reti neurali convoluzionali, dagli LLM agli agenti autonomi, fino ai vincoli tecnici e normativi che ne governano l'impiego. Per i fondamenti delle reti feed-forward, della backpropagation e dell'architettura Transformer si rimanda al precedente contributo dell'autore su questa Rassegna tecnica[1].

Prima dell'Intelligenza artificiale: la forza degli algoritmi classici

Prima dell'Intelligenza artificiale, la gestione delle emergenze si è appoggiata – e in larga misura si appoggia tuttora – su strumenti algoritmici deterministici:

- *sistemi a regole* (*if-then-else,* soglie prefissate), ad esempio la chiusura automatica di una valvola del gas al superamento di un valore di soglia;
- *Vehicle Routing Problem* (VRP), l'instradamento ottimale dei mezzi di soccorso su un grafo stradale, che presuppone però un grafo noto e stabile – esattamente ciò che viene meno dopo un sisma;
- *Simulazioni Monte Carlo,* la generazione di scenari di rischio probabilistici a supporto della pianificazione.

I limiti sono noti: questi strumenti sono rigidi, non apprendono dall'esperienza e risultano fragili di fronte a scenari non previsti in fase di progetto. Hanno tuttavia un vantaggio che non va sottovalutato: ogni decisione è *trasparente* (auditabile), *prevedibile* (il comportamento è deterministico) e quindi *certificabile*. In altre parole, l'ingegnere può *firmarla.* È una proprietà che ritroveremo, come requisito irrinunciabile, quando parleremo di governance degli agenti AI.

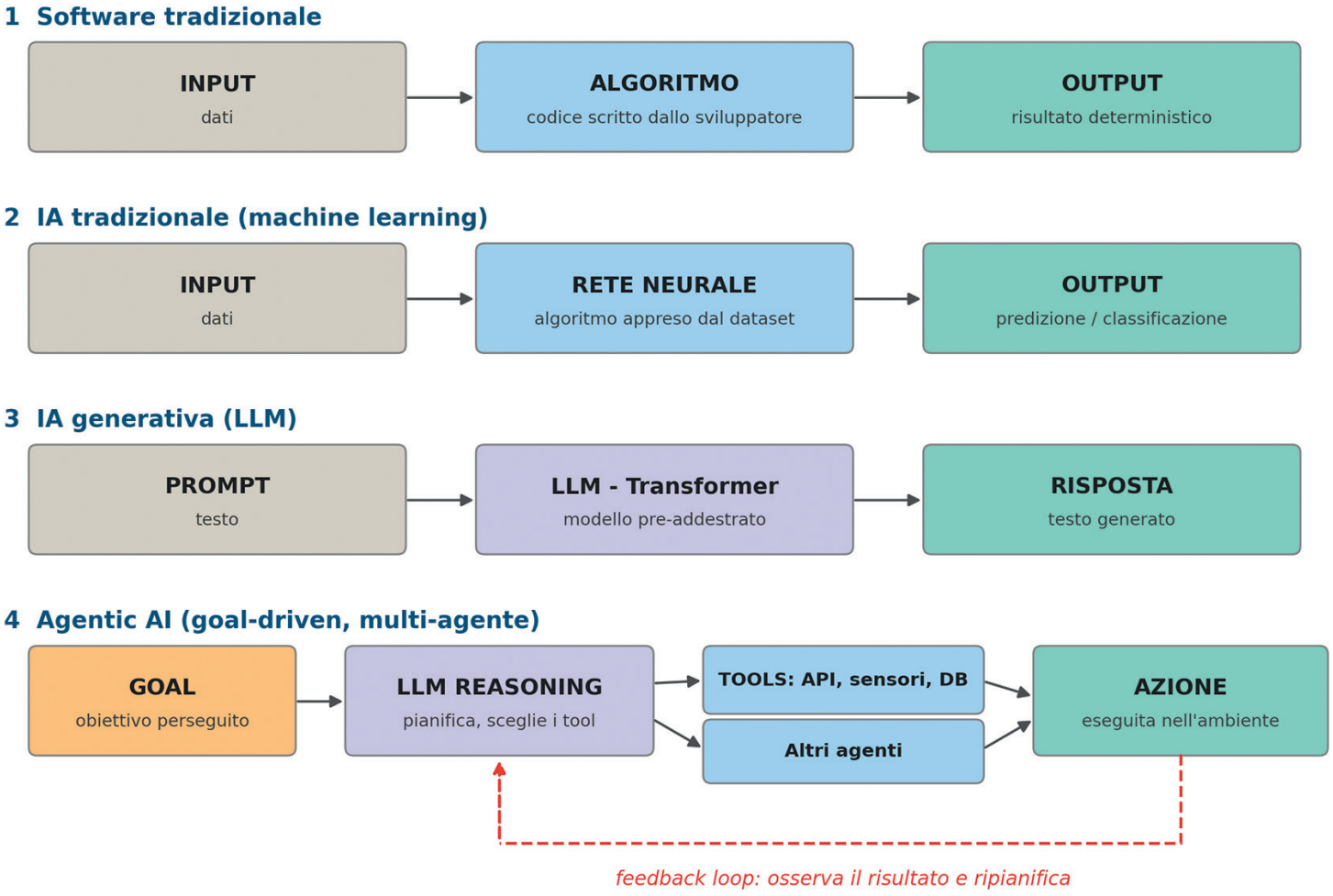
Quattro paradigmi software a confronto

L'evoluzione degli strumenti può essere letta come una successione di quattro paradigmi (fig. 1).

Nel software tradizionale l'algoritmo che trasforma l'input in output è scritto dallo sviluppatore.

Nell'IA tradizionale (machine learning) l'algoritmo viene *appreso* da un dataset: la rete neurale (o nei casi più semplici un modello matematico) produce predizioni o classificazioni.

Nell'IA generativa un modello



linguistico pre-addestrato (LLM, basato su architettura Transformer) riceve un prompt testuale e genera una risposta.

Il quarto paradigma, l'Agentic AI, cambia la natura stessa del sistema: il punto di partenza non è più un input o un prompt, ma un obiettivo (goal). Un LLM ragiona sul goal, pianifica una sequenza di passi e decide quali strumenti invocare – API, sensori, database, altri agenti; le azioni vengono eseguite nell'ambiente e il loro esito viene osservato e reimmesso nel ciclo, che ripianifica se necessario. Per un ingegnere l'analogia è immediata: si passa da una catena aperta a un sistema in retroazione, il cui "regolatore" è un modello linguistico.

Un'analogia efficace descrive l'IA tradizionale (e lo stesso LLM usato come chatbot) come un consulente brillante chiuso in una stanza: ottimo nel rispondere, ma occorre sempre chiamarlo e dirgli che cosa fare, passo per passo. Un agente, al contrario, monitora l'ambiente in modo continuo, pianifica, usa strumenti, coordina altri agenti e agisce in autonomia entro i confini che gli sono stati assegnati. La tab. 1 sintetizza il confronto.

La lettura della tabella suggerisce una conclusione importante: non si tratta di paradigmi in competizione, ma complementari. La risposta ingegneristicamente corretta è l'integrazione: algoritmi deterministici dove serve un controllo certificato, modelli di IA e LLM per l'analisi e la generazione, agenti per l'orchestrazione.

Vedere il danno: le reti neurali convoluzionali

In un'emergenza sismica una delle informazioni più preziose – e più lente da ottenere – è la mappa del danno. Droni e satelliti producono immagini in quantità enormi; il collo di bottiglia è la loro interpretazione. È il dominio delle reti neurali convoluzionali (*Convolutional Neural Networks,* CNN)[2].

Perché non una rete "densa"

Un'immagine RGB di piccolissime dimensioni, ad esempio 256 × 256 pixel, contiene 256 x 256 x 3 = 196.608 valori. Collegarla direttamente a un primo strato *fully connected* di 128 neuroni richiederebbe circa 25 milioni di pesi per un solo layer. Ma il problema non è solo dimensionale: una rete densa ignora la struttura spaziale dell'immagine, per cui lo stesso edificio spostato di pochi pixel produce un input completamente diverso. Le CNN risolvono entrambi i problemi con tre idee: località (ogni unità osserva una piccola

Descrittore	Algoritmi classici	IA tradizionale	LLM / IA generativa	Agentic AI
Autonomia	Procedure fisse	Risponde a query	Genera risposte da prompt	Agisce in autonomia verso un goal
Adattabilità	Rigida	Pattern noti (training set)	Linguaggio naturale, contesti aperti	Scenari nuovi, ripianificazione
Trasparenza	Completa	Parziale	Parziale	Catena di ragionamento tracciabile (log)
Scalabilità	Limitata	Buona	Buona (via API)	Multi-agente, distribuita
Certificabilità	Alta	Media	Bassa	In via di definizione (AI Act)

regione), condivisione dei pesi (lo stesso filtro è applicato ovunque) e filtri appresi anziché progettati.

Il kernel: come scorre sul segnale e sull'immagine

Il cuore della CNN è il kernel (o filtro), una piccola matrice di pesi che scorre sull'ingresso. Si consideri un segnale accelerometrico discreto x = [2, 4, 1, 3, 5, 2, 1] e il kernel k = [–1, 0, +1], che risponde alle variazioni brusche. In ogni posizione si calcola il prodotto scalare tra il kernel e la finestra corrispondente del segnale: nella seconda posizione, ad esempio, 4·(–1) + 1·0 + 3·(+1) = –1. Facendo scorrere il kernel su tutte le posizioni si ottiene una *feature map* (Fig. 2a). In forma generale, con passo (stride) s e *padding* p:

$$(x * k)[n] = \sum_{m=0}^{M-1} x[n \cdot s - p + m] \cdot k[m]$$

e la dimensione dell'uscita vale:

$$n_{out} = \left\lfloor \frac{n_{in} + 2p - M}{s} \right\rfloor + 1$$

Dimensione della feature map per kernel di lunghezza M, stride s e padding p.

Nell'esempio (n_{in} = 7, M = 3, s = 1, p = 0) si ottiene n_{out} = 5: il kernel "vede" tre campioni alla volta, in cinque posizioni. Si noti che quella usata nelle CNN è, a rigore, una *correlazione incrociata* (il kernel non viene ribaltato): poiché i pesi sono appresi, la distinzione rispetto alla convoluzione propriamente detta è irrilevante ai fini pratici.

Lo stesso principio si estende alle immagini (Fig. 2b). Applicando a una porzione 3 × 3 di una foto da drone il kernel di Sobel per i bordi verticali, il risultato (80) segnala una forte variazione orizzontale di intensità: un bordo. Per un'immagine con C canali (R, G, B) e F filtri in uscita:

$$O_f[i,j] = \sum_c \sum_m \sum_n I_c[i+m, j+n] \cdot K_{f,c}[m,n] + b_f$$

I_c: canale c dell'immagine; K_f,c: kernel del filtro f sul canale c; b_f: bias; O_f: feature map del filtro f.

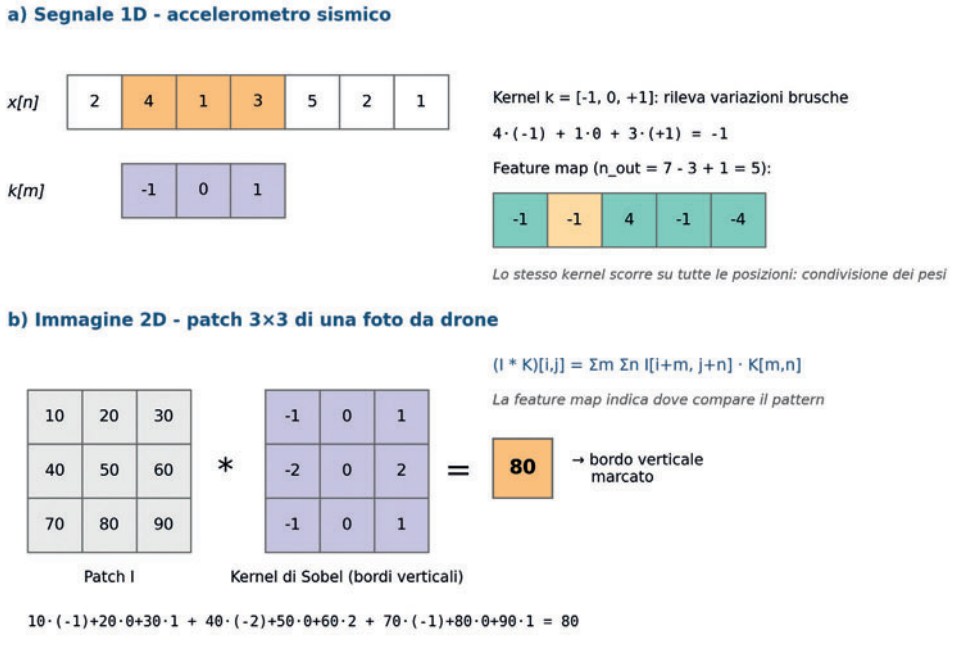
Il filtro viene appreso, non progettato

Il kernel di Sobel è stato progettato da un essere umano. In una CNN, invece, i valori dei kernel sono parametri come i pesi di una rete feed-forward: inizializzati con valori casuali, vengono aggiornati dalla backpropagation secondo la discesa del gradiente:

$$k \leftarrow k - \eta \frac{\partial J}{\partial k}$$

Aggiornamento del kernel: η è il learning rate, J la funzione di costo.

Il gradiente $\partial J/\partial k$ indica se aumentare un valore del kernel fa crescere o diminuire l'errore. Dopo l'addestramento su un grande numero di immagini etichettate, i kernel convergono verso i pattern che minimizzano l'errore, organizzati in una *gerarchia di rappresentazioni:* i primi layer rispondono



↑
Fig. 1
Evoluzione dei paradigmi software: dall'algoritmo scritto dallo sviluppatore all'agente *goal-driven* con ciclo di retroazione

←
Tab. 1 - Confronto tra i quattro paradigmi per descrittori

←
Fig. 2
a) Convoluzione 1D su un segnale accelerometrico
b) convoluzione 2D di una patch d'immagine con il kernel di Sobel

Le immagini presenti nell'articolo sono state parzialmente generate con l'Intelligenza Artificiale

→
Fig. 3
Max pooling 2×2 con stride 2: in ciascun quadrante sopravvive il valore massimo

→
Fig. 4
Percorso dei dati in una CNN per la classificazione del danno: convoluzioni, pooling, Global Average Pooling e classificatore finale

a bordi e gradienti, i successivi ad angoli, texture e giunzioni, poi a forme e parti di oggetti, fino ai layer profondi che rispondono a configurazioni come "muro crollato" o "tetto ceduto". Nessuno ha detto alla rete che cosa cercare: lo ha ricavato dai dati.

Max pooling: riduzione e invarianza

Dopo ogni convoluzione la feature map resta voluminosa. Il max pooling 2 × 2 la riduce prendendo il valore massimo in ciascuna finestra 2 × 2 (fig. 3). Si privilegia il massimo rispetto alla media perché interessa sapere se un pattern è presente in una regione, non quanto lo sia in media. Ne derivano tre benefici: la riduzione dei parametri (una mappa 256 × 256 diventa 128 × 128, e il layer successivo riceve un quarto degli ingressi), una parziale invarianza alla traslazione (un edificio spostato di un paio di pixel produce la stessa risposta) e un migliore controllo dell'*overfitting.*

Dal pixel alla classe

La Fig. 4 mostra il percorso completo di una rete semplice per la classificazione del danno. L'immagine 256×256×3 attraversa un primo strato convoluzionale con 32 filtri 3×3 (uscita 254×254×32), un max pooling (127×127×32), un secondo strato con 64 filtri (125×125×64) e un secondo pooling (62×62×64). A questo punto le feature map possono essere "appiattite" *(flatten)* in un vettore di 62·62·64 = 246.016 valori: collegarle a uno strato denso di 128 neuroni costerebbe oltre 31 milioni di pesi. Le architetture moderne preferiscono il *Global Average Pooling,* che riduce ciascuna delle 64 mappe a un singolo valore: lo strato denso successivo richiede allora appena 64·128 = 8.192 pesi. L'uscita softmax restituisce infine una distribuzione di probabilità sulle classi - ad esempio *intatto 2%, danneggiato 8%, crollato 85%, incerto 5%.*

I sistemi impiegati nelle emergenze reali sono più sofisticati: anziché classificare una singola immagine, eseguono una segmentazione semantica su coppie di immagini pre e post-evento, stimando il danno edificio per edificio. Il principio di base, tuttavia, è esattamente quello descritto.

Dall'LLM all'agente

Un Large Language Model, come illustrato in [1], predice il token successivo a partire dalla sequenza precedente. Usato da solo, è un generatore di testo. Inserito in un ciclo di controllo e dotato di strumenti, diventa il componente di ragionamento di un agente (Fig. 5), che:

- *percepisce:* riceve eventi e dati da sensori, feed, segnalazioni;
- *ragiona e pianifica:* l'LLM scompone il goal in sotto-obiettivi e sceglie la sequenza di azioni e gli strumenti da invocare;
- *agisce:* esegue le azioni tramite tool use - chiamate ad API, query su database, invocazione di modelli specialistici come una CNN;
- *impara:* osserva l'esito, aggiorna la memoria e ripianifica.

Quattro caratteristiche distinguono un agente da un semplice assistente: il tool use; una memoria sia contestuale (la sessione corrente) sia persistente (piani, mappe, storico degli eventi); il perseguimento continuo di obiettivi; l'autonomia, cioè la capacità di agire senza un'interrogazione esplicita da parte dell'operatore.

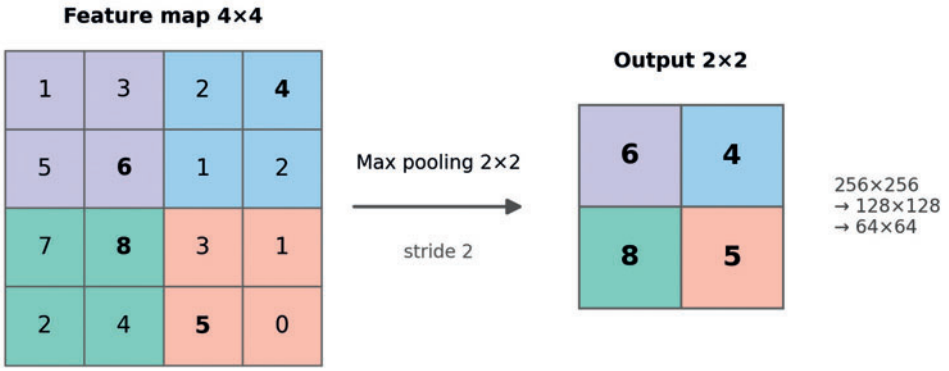
Quando i problemi sono complessi conviene distribuire il lavoro su più agenti specializzati, coordinati da un agente orchestratore: è un sistema multi-agente (Multi-Agent System, MAS). Ogni agente possiede strumenti e competenze di dominio circoscritti; il coordinatore assegna i compiti, raccoglie i risultati e gestisce priorità e conflitti. Esistono framework open source dedicati (ad esempio LangChain/LangGraph e AutoGen) e stanno emergendo protocolli standard sia per l'accesso agli strumenti (Model Context Protocol, MCP) sia per la comunicazione tra agenti (Agent2Agent, A2A). Dal punto di vista ingegneristico, un MAS è a tutti gli effetti un sistema distribuito, con i relativi problemi di coordinamento, consistenza e tolleranza ai guasti.

Il ciclo dell'emergenza in chiave multi-agente

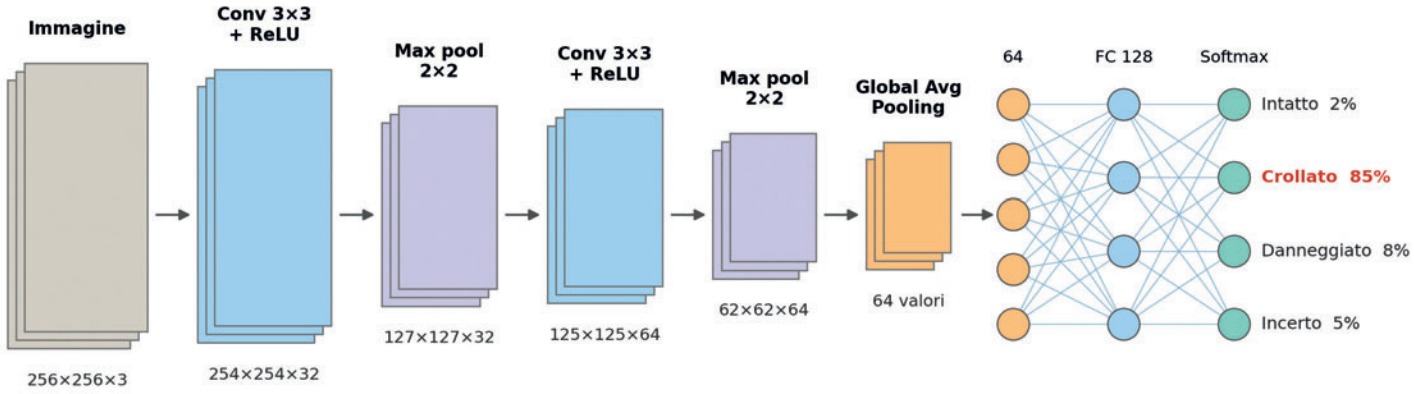
Applichiamo quanto sopra illustrato allo scenario di partenza.

Il ciclo di un'emergenza sismica si articola in tre fasi - prima, durante e dopo l'evento - e per ciascuna fase è possibile individuare agenti specializzati, orchestrati da un coordinatore (Fig. 6).

- *Prima dell'evento.* Un agente di monitoraggio (A1) elabora in continuo i dati di reti sismiche, accelerometri e stazioni GPS e mantiene aggiornato il digital twin delle infrastrutture. Un



↓
Fig. 5
Anatomia di un agente AI: il ciclo percezione-ragionamento-pianificazione-azione-apprendimento attorno a un goal persistente, con memoria, strumenti e altri agenti.



→
Fig. 6
Ciclo dell'emergenza: ogni evento alimenta la fase di preparazione successiva

LA MAGNITUDO MOMENTO M_w

La magnitudo locale (Richter, ML) satura per eventi superiori a circa M 7: misurando l'ampiezza registrata da uno strumento specifico, non distingue più tra eventi molto grandi.

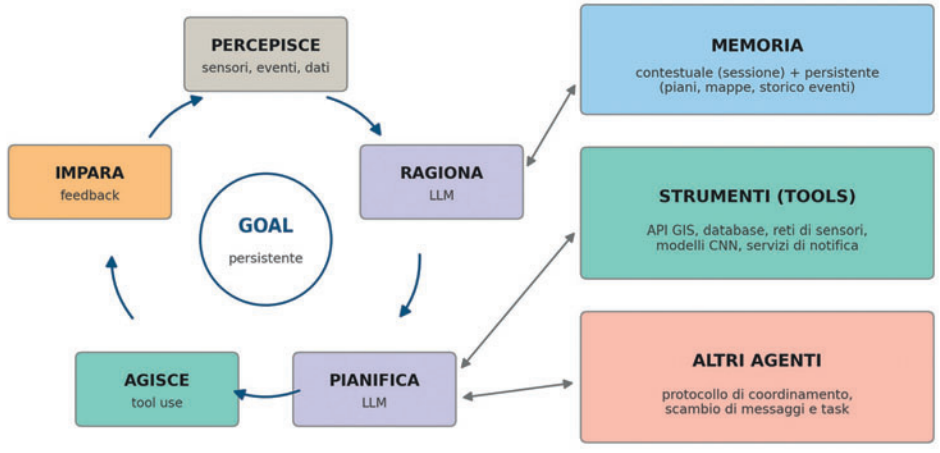
La comunità scientifica utilizza perciò la magnitudo momento M_w (Hanks e Kanamori, 1979 [6]), legata alla fisica della rottura attraverso il momento sismico M0:

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D$$

$$M_w = \frac{2}{3} \log_{10}$$

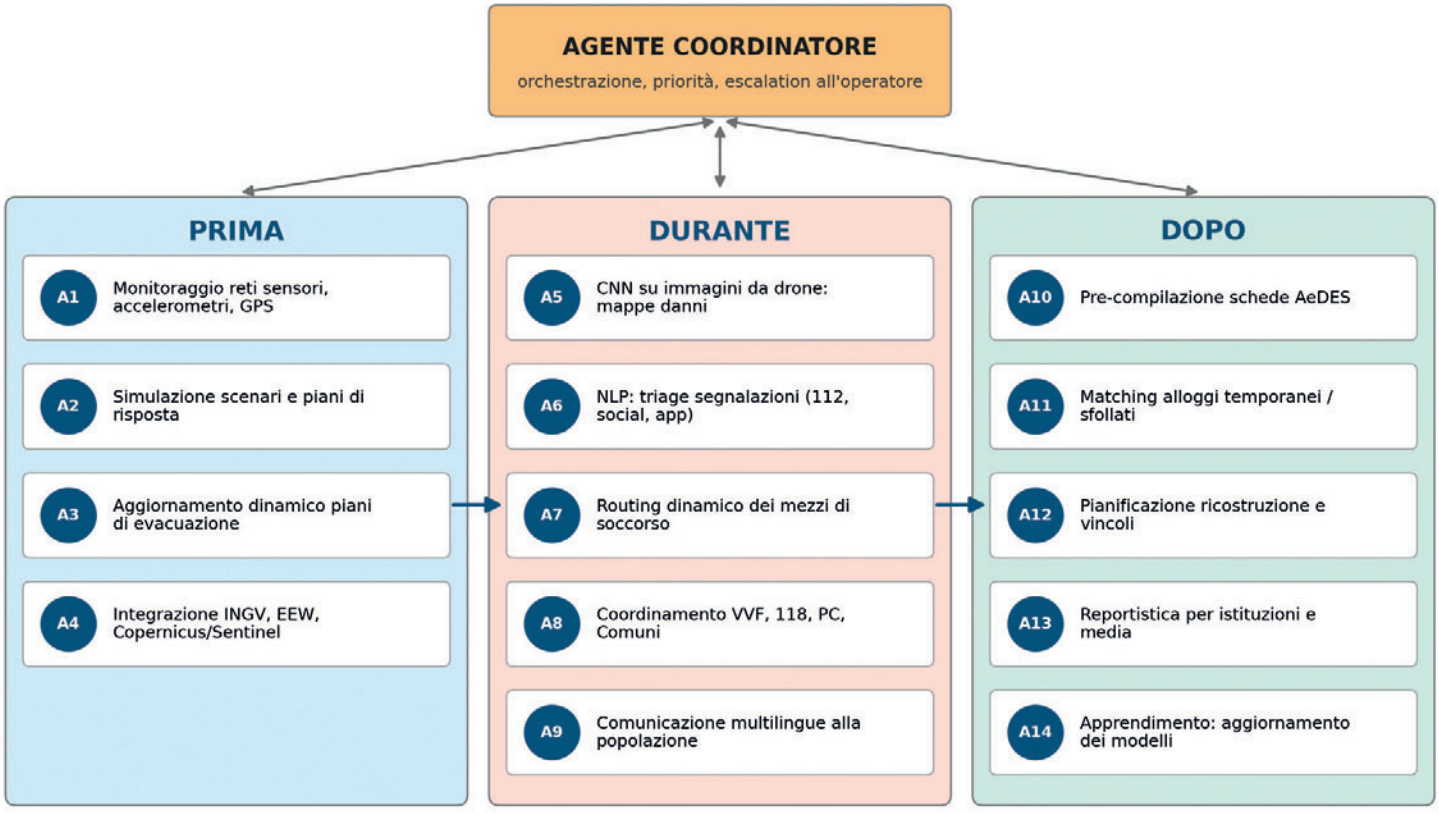
dove μ è il modulo di taglio delle rocce (Pa), A l'area della superficie di faglia (m²), D lo scorrimento medio (m), e M0 è espresso in N·m. Per il Friuli 1976 ($M_w \approx 6{,}4$) si ottiene $M_0 \approx 5 \cdot 10^{18}$ N·m.

Poiché l'energia irradiata scala con $10^{1{,}5 \cdot Mw}$, ogni unità di magnitudo corrisponde a circa 31,6 volte l'energia: Tohoku 2011 ha rilasciato un'energia dell'ordine di 8.000 volte quella del Friuli (fig. 7).



secondo agente (A2) esegue simulazioni di scenario e genera piani di risposta on the fly; un terzo (A3) aggiorna dinamicamente i piani di evacuazione. Un quarto agente (A4) orchestra l'integrazione con le fonti istituzionali: i dati dell'INGV, i sistemi di Earthquake Early Warning (EEW) - in Italia ancora in fase sperimentale - e il programma europeo Copernicus, con le immagini radar di Sentinel-1 e multispettrali di Sentinel-2.

- *Durante l'evento.* Un agente (A5) invoca modelli CNN sulle immagini da drone per produrre mappe del danno in tempo reale; un altro (A6) usa tecniche di elaborazione del linguaggio naturale per il triage delle segnalazioni dei cittadini provenienti dal 112, dai social e dalle app. L'agente di routing (A7) è un esempio emblematico di integrazione tra paradigmi: il VRP resta un algoritmo classico, ma è l'agente a mantenere aggiornato il grafo stradale (interruzioni, crolli, geolocalizzazione dei mezzi) e a richiamare il solutore ogni volta che lo scenario cambia. Completano il quadro



l'agente di coordinamento multi-agenzia (A8: Vigili del Fuoco, 118, Protezione Civile, Comuni) e quello di comunicazione, anche multilingue, verso la popolazione (A9).

- *Dopo l'evento.* L'agente A10 pre-elabora le schede AeDES (Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica) [3], suggerendo una prima valutazione a partire dalle immagini da drone. È bene essere precisi: la valutazione di agibilità resta un atto tecnico dei professionisti abilitati; la pre-compilazione serve a moltiplicare la capacità di un numero di tecnici che, nei grandi eventi, è strutturalmente insufficiente. Seguono il matching tra domanda e offerta di alloggi temporanei (A11), la pianificazione della ricostruzione con priorità, sequenze e vincoli normativi (A12), la reportistica per istituzioni e media (A13) e un agente di apprendimento (A14) che usa ogni evento per migliorare i modelli in vista del successivo.

Esperienze reali

Nessuno dei casi seguenti è, in senso stretto, un sistema "agentico". Ciascuno, però, documenta l'efficacia di uno dei mattoni descritti e ne evidenzia i limiti.

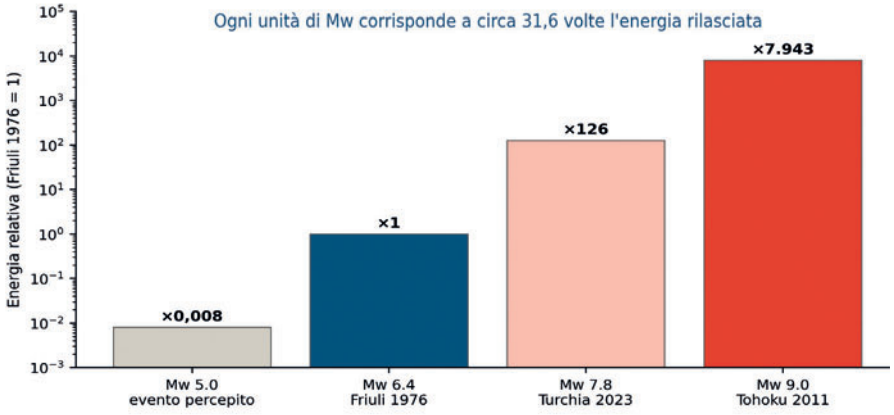
Turchia 2023: la mappa del danno da satellite

Il 6 febbraio 2023 due scosse di magnitudo M_w 7,8 e 7,5 (stime USGS) colpirono il sud-est della Turchia, causando oltre 50.000 vittime nel solo territorio turco su un'area di oltre 50.000 chilometri quadrati, impossibile da valutare manualmente in tempi utili (a titolo di paragone l'area colpita durante il terremoto che ha colpito il Friuli Venezia Giulia nel 1976 è stata di circa 5.700 chilometri quadrati).

Il Microsoft AI for Good Lab, in collaborazione con l'agenzia turca per le emergenze (AFAD), Planet Labs e Maxar Technologies, ha applicato un modello di segmentazione semantica a coppie di immagini satellitari ad alta risoluzione acquisite nei primi tre giorni dall'evento, stimando 3.849 edifici danneggiati o distrutti in quattro città; a Kahramanmaraş risultava danneggiato il 7,44% degli edifici [4]. I limiti sono altrettanto istruttivi: le zone coperte da nubi o con immagini di qualità insufficiente restano punti ciechi, il che rende necessaria l'integrazione con dati radar (SAR), indipendenti dalla copertura nuvolosa.

Giappone: l'Earthquake Early Warning e il limite della magnitudo

Il sistema EEW dell'Agenzia Meteorologica Giapponese (JMA), aperto al pubblico dal 1° ottobre 2007, sfrutta la differenza di velocità tra le onde P (veloci e poco distruttive) e le onde S (più lente e distruttive): rilevate le prime, stima epicentro e magnitudo ed emette l'allerta prima dell'arrivo delle seconde. L'allerta viaggia su TV, radio e telefoni cellulari e innesca azioni automatiche: i treni ad alta velocità rallentano, gli ascensori si fermano al piano più vicino, gli impianti pericolosi vanno in sicurezza. Anche i gestori di rete di-



←
Fig. 7
Energia relativa rilasciata da eventi di diversa magnitudo momento (scala logaritmica, Friuli 1976 = 1)

↓
Fig. 8
Livelli di autonomia e supervisione umana *(human-in-the-loop)* con esempi di azioni assegnabili a ciascun livello.

spongono di sistemi propri, come la rete di sensori di Tokyo Gas che interrompe automaticamente l'erogazione per settori.

Il terremoto di Tohoku dell'11 marzo 2011 (Mw 9,0) ne è stato il banco di prova più severo, con un esito istruttivo. L'allerta per la regione del Tohoku fu emessa pochi secondi dopo il primo rilevamento e prima dell'arrivo delle onde S; tuttavia, nei primi secondi la magnitudo fu stimata pari a circa 7,2 e l'allerta pubblica non fu estesa alla regione del Kanto, dove pure si registrarono intensità molto elevate [5]. È un esempio da manuale di saturazione della stima di magnitudo nelle fasi iniziali della rottura, e ricorda che anche il miglior sistema automatico va progettato tenendo conto dei propri limiti fisici (si veda il riquadro).

Stati Uniti 2017: il collo di bottiglia della valutazione

Nel 2017 gli uragani Harvey, Irma e Maria colpirono in rapida successione Texas, Florida e Porto Rico, con danni complessivi stimati dalla NOAA in oltre 260 miliardi di dollari.

La FEMA si trovò a coordinare aiuti su più fronti in parallelo, con valutazioni del danno in larga parte manuali, processi cartacei in aree prive di connettività e tempi di attesa di settimane.

Da allora l'impiego di computer vision su immagini aeree e satellitari per il triage del danno, di NLP per la gestione delle richieste di assistenza e di algoritmi di ottimizzazione logistica si è progressivamente diffuso. La lezione è netta: la valutazione manuale del danno è il collo di bottiglia, e chi dispone per primo di una mappa affidabile distribuisce per primo risorse scarse. Il limite, altrettanto netto, è organizzativo: sistemi legacy e procedure di acquisto lente rallentano l'adozione delle tecnologie da parte delle amministrazioni pubbliche.

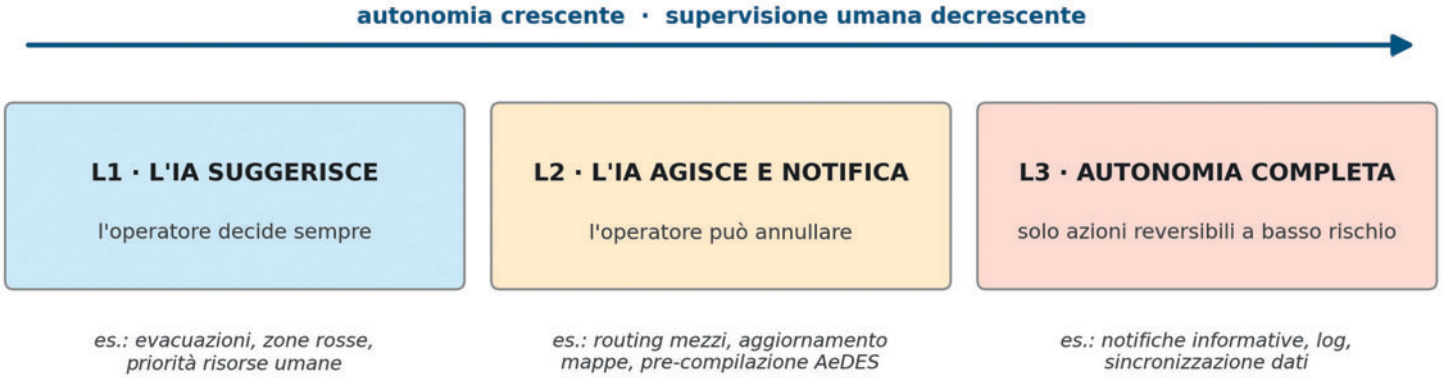
Europa: ARISTOTLE, un "sistema multi-agente" umano

Dal 2016 il servizio ARISTOTLE *(All Risk Integrated System TOwards Trans-boundary hoListic Early-warning),* finanziato dalla DG ECHO, fornisce all'*Emergency Response Coordination Centre* (ERCC) della Commissione europea analisi scientifiche multi-rischio: terremoti e tsunami, vulcani, meteo estremo, alluvioni e incendi. Opera in modalità di emergenza (risposta alle richieste dell'ERCC in poche ore), pro-attiva (segnalazione di minacce emergenti) e di routine, e vede un ruolo di primo piano di istituzioni italiane, tra cui l'INGV e la Fondazione CIMA. ARISTOTLE non è un sistema di IA, ma è istruttivo per un'altra ragione: è una federazione di centri di competenza specializzati, coordinati da un'unica regia, che produce in tempi brevi una sintesi multi-dominio. È, in altre parole, la controparte organizzativa dell'architettura multi-agente descritta al paragrafo 6 - e un modello naturale da cui partire per progettare gli agenti AI.

Sfide, rischi e governance

L'entusiasmo per le potenzialità non deve far perdere di vista i limiti. Quattro sfide meritano particolare attenzione:

- *infrastruttura.* In emergenza connettività ed energia elettrica sono le prime a venire meno: un sistema che dipende da servizi cloud remoti fallisce proprio quando serve. Le contromisure sono l'edge computing, la ridondanza dei collegamenti (anche satellitari) e la degradazione controllata delle funzionalità;
- *allucinazioni.* Un LLM può produrre output plausibili ma errati. Occorrono il grounding (ovvero l'ancoraggio delle risposte del modello a fonti esterne fornite nel contesto, ad esempio tramite RAG, anziché alla sola conoscenza appresa in addestramento) su dati verificati, output strutturati e validati, e la delega dei calcoli critici ad algoritmi deterministici anziché al modello linguistico;
- *qualità dei dati.* Vale il principio *garbage in, garbage out*: sensori calibrati, cartografia aggiornata e dataset di addestramento rappresentativi del patrimonio edilizio locale sono prerequisiti, non dettagli;
- *coordinamento e interoperabilità.* Agenti di enti diversi devono scambiarsi informazioni in formati comuni (ad esempio il *Common Alerting Protocol* per le allerte e gli standard OGC per i dati geospaziali), scalare nei picchi di carico e restare robusti



ai guasti dei singoli componenti.

Sul piano regolatorio, il Regolamento (UE) 2024/1689 (AI Act) classifica come ad alto rischio i sistemi destinati a valutare e classificare le chiamate di emergenza o a stabilire le priorità nell'invio dei servizi di primo soccorso, nonché i componenti di sicurezza delle infrastrutture critiche (Allegato III) [7]. Per questi sistemi sono richiesti gestione del rischio, governance dei dati, documentazione tecnica, registrazione degli eventi (logging), trasparenza e - soprattutto - sorveglianza umana (art. 14). Con il pacchetto Digital Omnibus, approvato nel 2026, l'applicazione degli obblighi per i sistemi ad alto rischio dell'Allegato III è stata posticipata al 2 dicembre 2027: il calendario cambia, i requisiti sostanziali no.

La questione centrale diventa allora: chi decide? È utile distinguere tre livelli di autonomia fFig. 8). Al primo l'IA suggerisce e l'operatore decide sempre; al secondo l'IA agisce e notifica, e l'operatore può annullare; al terzo l'IA opera in completa autonomia, ma solo su azioni reversibili e a basso rischio. Il buon senso ingegneristico - prima ancora della norma - impone che evacuazioni, dichiarazioni di zona rossa e allocazione delle risorse umane restino sempre sotto supervisione umana.

Ne discende un principio che vale la pena enunciare con chiarezza: la responsabilità professionale non si delega a un algoritmo. L'ingegnere non diventa un operatore passivo, ma un orchestratore di livello superiore: progetta i confini dell'autonomia, ne verifica il rispetto e firma le decisioni che contano.

L'ingegnere nell'era agentica

Che cosa serve, concretamente, alla nostra professione? Avere almeno quattro competenze.

L'*AI literacy:* capire come funzionano questi sistemi e dove sbagliano, senza necessariamente saperli programmare.

Il *system design:* progettare architetture multi-agente robuste, con interfacce, modalità di guasto e meccanismi di supervisione esplicitamente definiti.

L'*AI governance:* validazione, audit, conformità all'AI Act.

L'*interdisciplinarità:* l'ingegnere civile che conosce il comportamento delle strutture, l'ingegnere dell'informazione che conosce i modelli e la protezione civile che conosce le procedure devono lavorare sugli stessi problemi.

Da qui una proposta concreta: la costituzione di un Laboratorio regionale "AI + Emergenze" Friuli Venezia Giulia che riunisca ingegneri civili e dell'informazione, Protezione Civile regionale, INGV e Università, con l'obiettivo di sperimentare – su dati e scenari del nostro territorio – le architetture descritte in questo articolo, a partire dai livelli di autonomia più prudenti.

Cinquant'anni fa il Friuli ha dimostrato di saper rispondere a una catastrofe con un'eccellenza organizzativa che è diventata un modello nazionale.

La generazione di ingegneri di questi anni ha l'occasione di fare lo stesso con le tecnologie del proprio tempo: non sostituendo il giudizio umano, ma mettendolo nelle condizioni di esercitarsi con informazioni migliori, più complete e più tempestive.

NOTA 1
National Oceanic and Atmospheric Administration: l'agenzia federale statunitense per gli oceani e l'atmosfera

NOTA 2
Federal Emergency Management Agency: l'agenzia federale statunitense per la gestione delle emergenze

BIBLIOGRAFIA

1. M. Giacomini, *Dall'equazione al linguaggio: anatomia dell'intelligenza artificiale,* Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia.
2. Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner, *Gradient-based learning applied to document recognition, Proceedings of the IEEE,* 86(11), 1998.
3. Dipartimento della Protezione Civile, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES).*
4. C. Robinson et al., *Turkey Earthquake Report,* Microsoft Research, MSR-TR-2023-7, 2023.
5. Japan Meteorological Agency, *Documentazione tecnica sull'Earthquake Early Warning durante il terremoto del 2011 off the Pacific coast of Tohoku.*
6. T. C. Hanks, H. Kanamori, *A moment magnitude scale,* Journal of Geophysical Research, 84(B5), 1979.
7. Regolamento (UE) 2024/1689 del Parlamento europeo e del Consiglio (AI Act), Allegato III e art. 14, come modificato dal pacchetto Digital Omnibus on AI (2026).

IL SISTEMA FOGNATURA-IMPIANTO IN RELAZIONE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Il caso studio di Grado

GIUSEPPE MAZZARA, laureato in Ingegneria per l'Ambiente, il Territorio e la Protezione Civile, Università degli Studi di Udine
ROBERTO PERIN, libero professionista, cultore della materia, Università degli Studi di Udine
ELIA ARNONE, DANIELE GOI, docenti, Università degli Studi di Udine
PIERPAOLO BRAIDOTTI, FRANCESCO PERATONER, ingegneri, Irisacqua srl

Una recente tesi di laurea magistrale, vincitrice della seconda edizione del "premio Nicola Turello" istituito da AUSIR (Autorità Unica per i Servizi Idrici e i Rifiuti) per onorare la memoria del suo primo presidente, ha preso in considerazione uno dei temi più critici che riguardano il Ciclo Idrico Integrato, ossia l'approccio quali-quantitativo al sistema fognatura-impianto di depurazione.





Veduta aerea fotografica
dell'isola di Grado e dell'ambiente circostante,
laguna e terraferma

Numerosi studi hanno evidenziato come l'effetto dei cambiamenti climatici, a causa del riscaldamento globale, stia influenzando negativamente gli equilibri naturali del pianeta. Infatti, come testimoniato da diversi organi internazionali (ad esempio, IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), dall'era preindustriale a oggi si è registrato un progressivo aumento della temperatura media dell'aria di circa 1,5 °C. Parallelamente, è stato confermato l'innalzamento del livello medio mare che, nel caso di Venezia, ha raggiunto un incremento di circa 32 centimetri nel periodo compreso tra il 1870 e il 2023. A tali fenomeni si aggiunge la subsidenza, ovvero l'abbassamento progressivo del suolo tipico delle aree costiere dell'Alto Adriatico. L'effetto combinato tra innalzamento eustatico e subsidenza locale determina un aumento del livello relativo del mare rispetto alle infrastrutture, amplificando le criticità idrauliche nello smaltimento delle acque nei sistemi di drenaggio urbano.

Le evidenze più recenti sul cambiamento climatico documentano un incremento statisticamente significativo sia della frequenza sia dell'intensità delle precipitazioni estreme. Tale evoluzione, congiuntamente all'innalzamento del livello medio del mare, esercita un'influenza diretta sui criteri di progettazione delle infrastrutture idrauliche e sulla capacità di smaltimento dei sistemi di drenaggio urbano. In questo contesto, l'assunto di stazionarietà del clima, tradizionalmente adottato nelle analisi idrologiche, risulta non più applicabile, rendendo necessaria una revisione dei modelli progettuali basati esclusivamente su serie storiche consolidate.

Dal punto di vista idrologico, ciò implica la necessità di aggiornare le curve di possibilità pluviometrica e i modelli di precipitazione estrema, integrando approcci non stazionari e scenari climatici futuri coerenti con le proiezioni regionali. L'aumento dell'intensità e della frequenza degli eventi brevi a elevata severità determina infatti variazioni sostanziali nelle portate affluenti alle reti fognarie, richiedendo un impianto modellistico in grado di rappresentare con accuratezza le nuove forzanti idrologiche e la loro variabilità temporale. In tale quadro, l'adozione di scenari idrologici aggiornati costituisce un passaggio imprescindibile per la successiva modellazione idraulica della rete e per la verifica della capacità di trattamento degli impianti di depurazione. Una caratterizzazione idrologica coerente con le condizioni climatiche attese consente di valutare in modo più realistico le sollecitazioni cui il sistema fognatura–impianto sarà sottoposto, supportando processi decisionali orientati alla resilienza, all'adattamento e alla pianificazione di lungo periodo.

Nelle aree costiere, le due principali conseguenze dei cambiamenti climatici (l'intensificazione delle precipitazioni estreme e l'innalzamento del livello medio mare) interagiscono in modo sinergico con il sistema fognatura- impianto, amplificando le criticità idrauliche e depurative. Come evidenziato nella tesi di Giuseppe Mazzara, *Sistema fognatura – impianto in relazione ai cambiamenti climatici: un caso*

→
Figura 1
Cartografia di Grado riportante i luoghi di interesse delle ispezioni

Figura 2
Cartografia di Grado riportante le evidenze riscontrate in situ

Figura 3
Cartografia di Grado con la *distrettualizzazione* della rete fognaria

studio, tale problematica può essere affrontata efficacemente attraverso un approccio multidisciplinare che integri l'analisi idrologica, la modellazione idraulica delle reti fognarie e la valutazione delle prestazioni dei processi di depurazione. In particolare, questo approccio innovativo è stato proposto all'interno del caso studio della città di Grado, essendo quest'ultima una località sita in un'area costiera. L'analisi del suddetto caso studio è stata svolta in collaborazione con la società Irisacqua srl di gestione del Ciclo Idrico Integrato del territorio gradese. In buona sostanza nel lavoro di tesi si sono messi in evidenza gli interventi eseguiti negli ultimi anni al fine di migliorare il sistema fognatura-impianto, identificando alcune criticità di cui spesso soffre l'isola di Grado. Particolare attenzione è stata data all'intrusione della marea non solo attraverso i manufatti noti come scaricatori di piena, ma anche tramite alcune condotte di scarico a mare a servizio della viabilità, che in condizioni di alta marea consentono l'ingresso di acqua salmastra all'interno della rete fognaria. In relazione a tale criticità sono stati individuati e proposti diversi interventi di mitigazione finalizzati a ridurre o impedire tali ingressi indesiderati.

Le criticità derivanti dai cambiamenti climatici

Dalle analisi effettuate e dallo studio di potenziali soluzioni, si è messo in particolare evidenza che alcune criticità legate ai cambiamenti climatici, presenti nel sistema fognatura-impianto in aree costiere, possono essere meglio fronteggiate attraverso uno studio coordinato idrologico-idraulico-depurativo, che consente di conoscere, progettare, realizzare e controllare con maggiore efficacia il Ciclo Idrico Integrato anche in zone particolarmente vulnerabili come quelle costiere. Nel seguito vengono riportati alcuni spunti interessanti sviluppati durante il lavoro.

L'isola di Grado è caratterizzata da una rete di drenaggio che segue uno schema topologico dendritico e, a eccezione delle zone di Grado Pineta e Valle Goppion, è prevalentemente di tipo misto, convogliando lungo la dorsale principale sia le acque bianche sia quelle nere.

L'analisi idraulica della rete fognaria è stata condotta valutando la risposta del sistema alle diverse condizioni di marea e alle portate affluenti, con particolare attenzione ai fenomeni di rigurgito e all'intrusione di acqua salmastra. La rete di Grado, caratterizzata da una marcata interazione con il contesto lagunare, risulta infatti particolarmente sensibile alle variazioni del livello marino, le quali influenzano in modo diretto il comportamento degli scaricatori di piena e dei collettori costieri.

Una modellazione idraulica adeguatamente strutturata consente infatti di quantificare le potenziali portate di infiltrazione marina, di individuare i tratti maggiormente vulnerabili e di valutare l'efficacia di diverse strategie di mitigazione, quali la sostituzione dei manufatti obsoleti, l'installazione di valvole di non ritorno o la revisione delle quote di sfioro. L'integrazione tra condizioni di marea, livelli piezometrici e idrogrammi di piena permette inoltre di analizzare le interazioni dinamiche tra rete fognaria e ambiente costiero, evidenziando come l'innalzamento del livello medio mare possa ridurre l'efficienza dei sistemi di drenaggio urbano in ambito costiero.

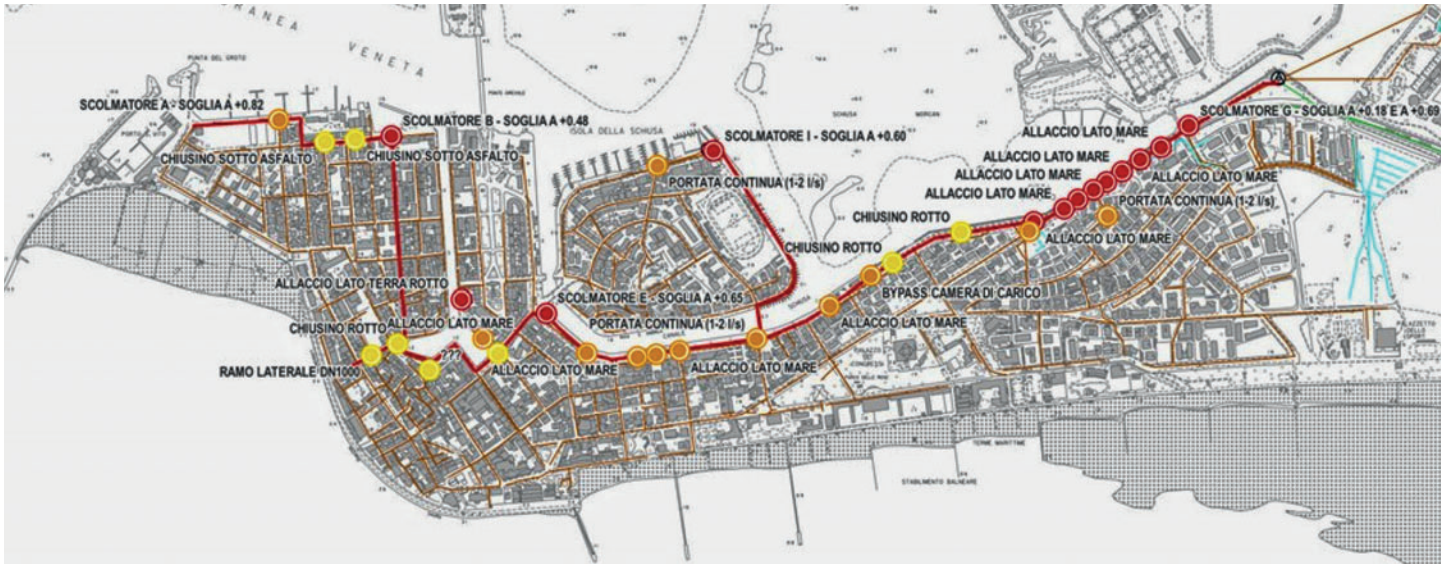
Un ulteriore approfondimento riguarda la valutazione degli effetti cumulativi tra eventi di precipitazione intensa e condizioni di alta marea, scenario particolarmente critico nelle aree lagunari. Le simulazioni idrauliche, in tale prospettiva, mostrerebbero come la concomitanza di tali condizioni possa determinare un incremento significativo dei volumi rigurgitati e un aumento della durata degli allagamenti localizzati, con ripercussioni sia sul funzionamento della rete sia sul carico idraulico in ingresso all'impianto di depurazione.

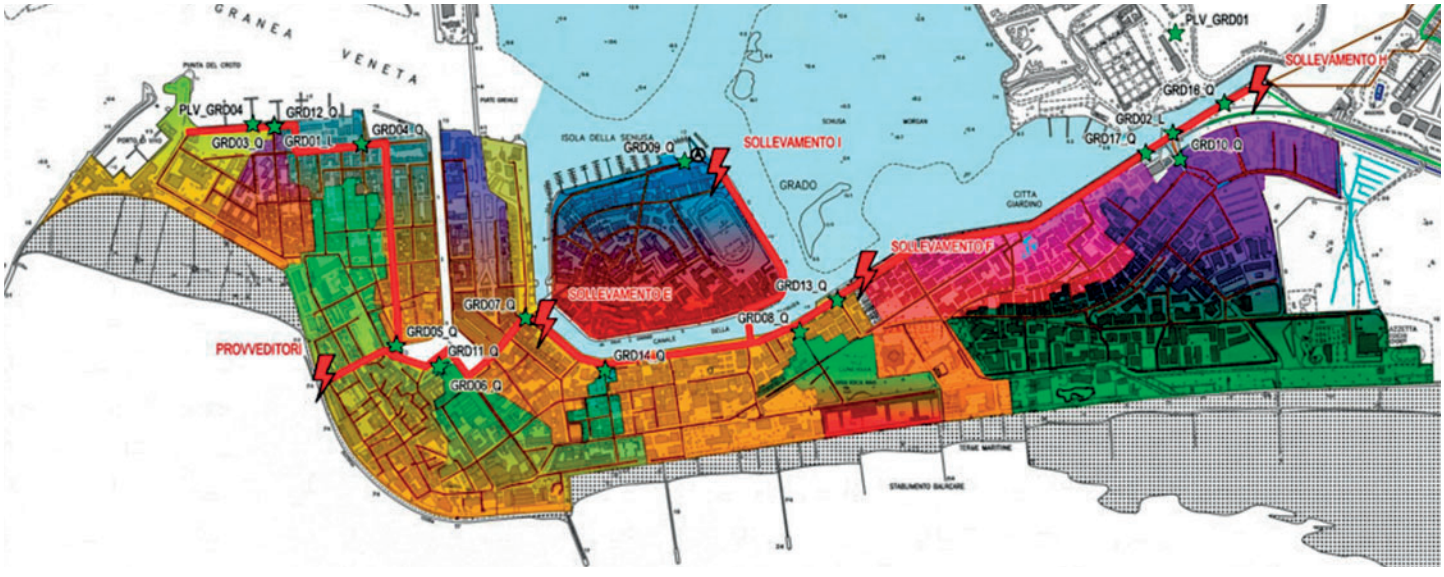
L'analisi della rete fognaria di Grado si è basata sull'ispezione dei vari nodi della rete, e quindi sull'apertura dei chiusini posti tra un nodo e il successivo, come è possibile osservare in figura 1.

Tale operazione è stata finalizzata all'individuazione dell'ingresso di acqua salmastra all'interno della rete fognaria in quanto, da un primo bilancio effettuato tra i volumi, emergevano dal telecontrollo delle incongruenze. In particolare, le ispezioni effettuate hanno permesso di individuare degli ingressi di acqua salmastra, lungo Viale Argini dei Moreri, attraverso degli allacci lato mare dalla fognatura sita sotto la pista ciclabile nella parte est dell'isola.

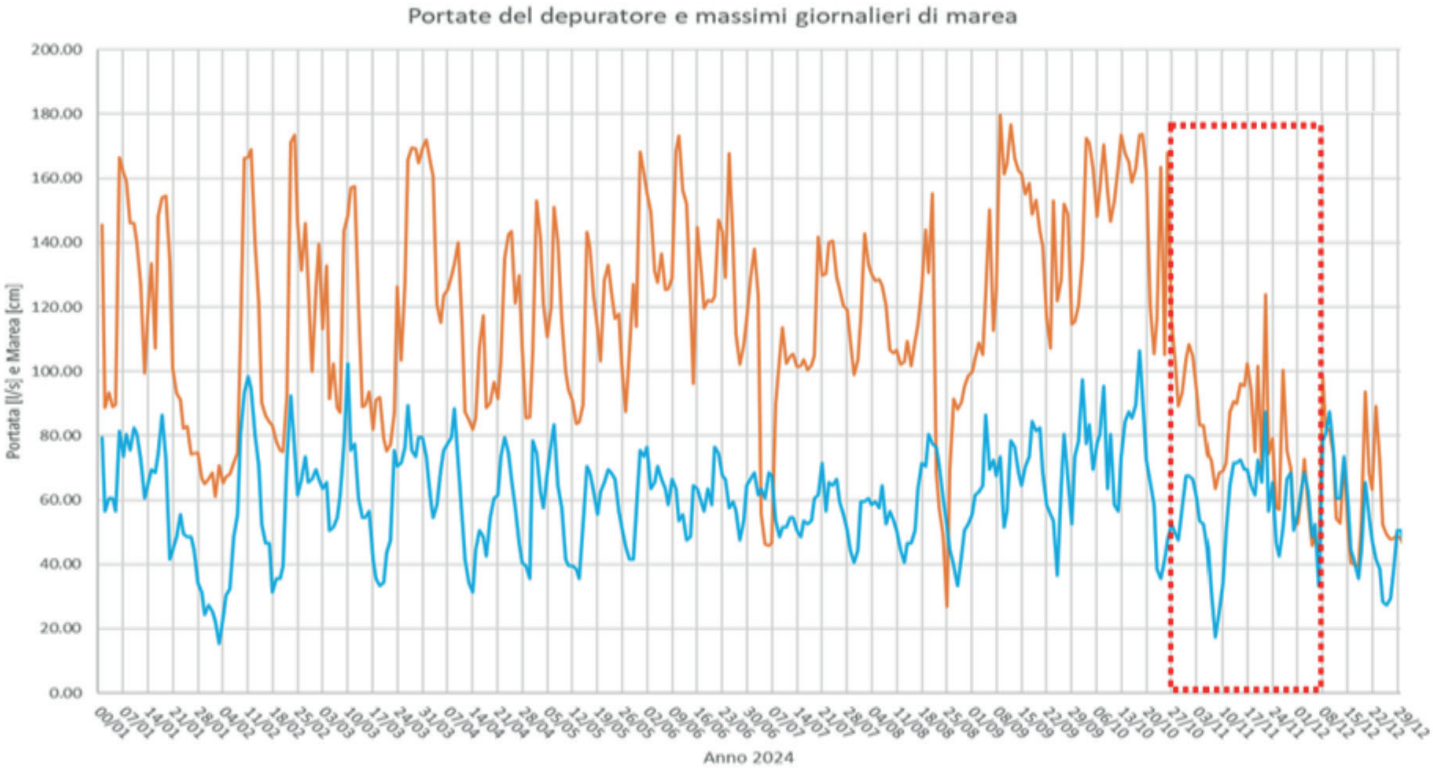
A seguito dei rilevamenti effettuati è stata svolta una *distrettualizzazione* della rete fognaria


LITORANEA VENETA
SFIORO A
SFIORO B
SFIORO C&D
SFIORO E
SOLLEVAMENTO E
SFIORO I
SOLLEVAMENTO I
SFIORO F
SFIORO G
SOLLEVAMENTO H
PROVVEDITORI
GRADO
CITTA GIARDINO


SCOLMATORE A - SOGLIA A +0.82
SCOLMATORE B - SOGLIA A +0.48
SCOLMATORE I - SOGLIA A +0.60
SCOLMATORE G - SOGLIA A +0.18 E A +0.69
SCOLMATORE E - SOGLIA A +0.65
CHIUSINO SOTTO ASFALTO
CHIUSINO SOTTO ASFALTO
PORTATA CONTINUA (1-2 l/s)
PORTATA CONTINUA (1-2 l/s)
PORTATA CONTINUA (1-2 l/s)
ALLACCIO LATO MARE
ALLACCIO LATO MARE
ALLACCIO LATO MARE
ALLACCIO LATO MARE
ALLACCIO LATO MARE
ALLACCIO LATO MARE
ALLACCIO LATO MARE
ALLACCIO LATO MARE
ALLACCIO LATO MARE
ALLACCIO LATO TERRA ROTTO
CHIUSINO ROTTO
CHIUSINO ROTTO
CHIUSINO ROTTO
BYPASS CAMERA DI CARICO
RAMO LATERALE DN1000


LITORANEA VENETA
PLV_GRD01
PLV_GRD04
GRD12_Q
GRD03_Q
GRD01_L
GRD04_Q
GRD09_Q
GRD18_Q
GRD02_L
GRD17_Q
GRD10_Q
GRD07_Q
GRD05_Q
GRD11_Q
GRD06_Q
GRD14_Q
GRD13_Q
GRD08_Q
SOLLEVAMENTO I
SOLLEVAMENTO H
SOLLEVAMENTO E
SOLLEVAMENTO F
PROVVEDITORI
GRADO
CITTA GIARDINO

↓
Figura 4
Confronto tra portate al depuratore di Grado e andamento marea:
- linea rossa, portata media giornaliera al depuratore
- linea azzurra, max di marea CTR (cm)



di Grado. Tale operazione, come è possibile osservare nella Figura 3, a partire dai vari layer che individuavano la posizione dei manufatti e degli strumenti di misura presenti all'interno della rete di Grado, ha permesso di suddividere l'intera area di studio di Grado in distretti o bacini, al fine di poter eseguire un bilancio idraulico tra quello che è in arrivo ad ogni distretto e quello che è in uscita dallo stesso distretto. Una volta effettuato il bilancio per ogni bacino è stato poi possibile effettuare il bilancio complessivo dell'intera area di studio.

Le analisi di misura sono state effettuate prendendo come riferimento una campagna di misure svoltasi a Grado nel periodo compreso tra il 29 ottobre 2024 e 8 dicembre 2024. Durante questo periodo è stato analizzato l'andamento della fognatura al variare delle condizioni di marea. In particolare:

- *con picchi di marea minori di 50 cm,* la portata minima giornaliera al depuratore è stata pari a 45-50 l/s;
- *con picchi di marea compresi tra 50 e 60 cm,* la portata minima giornaliera al depuratore è stata pari a 60-65 l/s;
- *con picchi di marea compresi tra 60 e 70 cm,* la portata minima giornaliera al depuratore è stata pari a 70-75 l/s;
- *con picchi di marea compresi tra 70 e 80 cm,* la portata minima giornaliera al depuratore è stata pari a 80-85 l/s;
- *con picchi di marea maggiori di 80 cm,* la portata minima giornaliera al depuratore è stata pari a 100 l/s.

Tali dati testimoniano l'influenza dell'ingresso di acqua salmastra all'interno della rete fognaria dagli scaricatori o da pozzetti allacciati al lato mare con immissioni di acqua di mare acclarate o sospette.

Nonostante la finestra in cui sono state effettuate le misure relative al periodo preso in considerazione (il riquadro rosso) nel grafico è riportata una finestra maggiore per avere una visione d'insieme confrontando le portate inviate al depuratore con i massimi livelli di marea registrati.

In Figura 4 viene riportato un quadro di insieme con il dettaglio del periodo delle misure ef-

fettuate, per confrontare le portate inviate al depuratore con i massimi livelli di marea registrati. A conferma di quanto detto precedentemente, l'andamento della portata media giornaliera al depuratore segue quello dei livelli massimi di marea. In questo caso di studio, i risultati mostrati nel grafico hanno confermato quanto era emerso dal rilevamento da remoto e dai sopralluoghi in situ.

Il rilievo effettuato ha anche il fine di definire le possibili migliorie nel trattamento del refluo in ingresso all'impianto.

L'impianto di depurazione costituisce una struttura importante per prevenire l'inquinamento del recapito finale che nel caso specifico è il mare.

Lo schema di processo dei trattamenti dell'impianto collegato alla fognatura di Grado si articola in varie unità che consentono di trattare il carico della città nelle differenti configurazioni estate-inverno e possiede i tradizionali comparti per il trattamento delle frazioni organiche, azotate e fosforate con successivi affinamenti terziari.

Il controllo dell'apporto quali-quantitativo è essenziale per consentire il funzionamento corretto del sistema fognatura-impianto e nel caso specifico di Grado, lo studio dell'andamento quantitativo dell'acqua reflua in fognatura è cruciale, sia per operare una corretta gestione dei processi esistenti, che per introdurre specifiche migliorie o correzioni della depurazione. In particolare, intrusioni di acque salmastre in fognatura comportano un potenziale inconveniente ai processi, che può essere ridotto conoscendo preventivamente proprio gli andamenti quali-quantitativi dell'apporto in impianto.

I nuovi approcci "One Health"

Il progresso scientifico-tecnologico degli ultimi anni ha portato numerosi nuovi stimoli di miglioramento degli assetti attuali del sistema fognatura-impianto, in particolare la possibilità di prevedere e simulare assieme i comparti idrologici-idraulici-depurativi è fondamentale per il controllo di tutta la struttura complessa del Ciclo Idrico Integrato, anche in relazioni ai nuovi approcci "One Health" imposti dalla Direttiva (UE) 2024/3019 sulle acque reflue urbane e l'Agenda Unesco 2030.

La possibilità di analizzare in modo coordinato i processi idrologici, idraulici e depurativi rappresenta un elemento chiave per la gestione moderna del Ciclo Idrico Integrato, in particolare nelle aree costiere soggette a variazioni del livello mare e a precipitazioni estreme. Tale approccio multidisciplinare è in linea con le più recenti raccomandazioni internazionali, che sottolineano l'importanza della resilienza dei sistemi idrici e della qualità delle acque scaricate in ambiente, in coerenza con gli obiettivi dell'Agenda 2030.

L'integrazione dei tre livelli di analisi permette di individuare criticità, ottimizzare gli interventi e garantire una gestione sostenibile e adattiva del sistema fognatura impianto.

In conclusione, in un mondo idrologico che sta subendo rapide evoluzioni e di cui bisogna tenere conto come dato di partenza nella modellazione del sistema di drenaggio di tutti gli agglomerati urbani soprattutto quelli in zona costiera come quelli della città di Grado, così come nella riqualificazione della struttura di processo dell'impianto di depurazione, occorre procedere richiamando coordinatamente i nuovi dati idrologici, le nuove misure idrauliche quantitative assieme alle caratterizzazioni qualitative e i nuovi schemi depurativi.

Nel caso studio analizzato, soprattutto alla luce dei nuovi approcci idrologici, diventa prioritario l'aggiornamento del modello idraulico, che costituisce comunque un'ottima base per la modellazione del sistema fognatura-impianto a servizio dell'isola.

In definitiva, nella considerazione che le forzanti climatiche sono sempre più severe, è fondamentale una corretta valutazione del cambiamento climatico per sviluppare delle strategie future di adattamento e di mitigazione finalizzate alla gestione ottimale del sistema fognatura-impianto e di tutto l'intero Ciclo Idrico Integrato.

REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA: LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA NELL'ANNO 2025

Il ruolo della Regione nella transizione elettrica nazionale

PIETRO PAULON, ingegnere

L'energia elettrica rappresenta uno degli indicatori più significativi per comprendere lo sviluppo economico e industriale di un territorio. Analizzare il posizionamento del Friuli Venezia Giulia nel contesto nazionale consente non solo di valutare il contributo della regione al sistema elettrico italiano, ma anche di coglierne le peculiarità sotto il profilo delle fonti di produzione e della sostenibilità energetica.

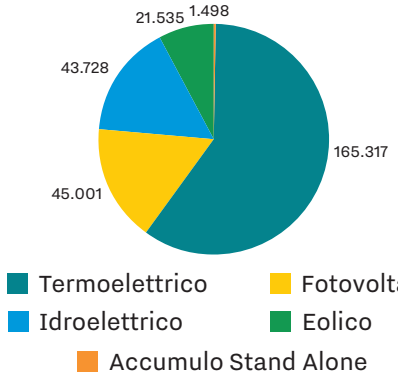
In questo articolo si vuole approfondire la produzione di energia elettrica nella regione Friuli Venezia Giulia, esaminandone sia la ripartizione per fonti e per province sia il confronto con il quadro nazionale. Non si è tenuto conto delle importazioni e delle esportazioni, sia a livello nazionale che regionale. I dati qui riportati sono quelli liberamente ottenibili da Terna spa[1] relativi all'anno 2025 e pubblicati a settembre 2026. Tutti i valori si riferiscono alla produzione lorda di energia elettrica, ossia comprensiva dei consumi dei servizi ausiliari necessari al funzionamento degli impianti di produzione.

Prima di procedere all'analisi è utile richiamare alcuni dati dimensionali. L'Italia copre una superficie di 302.069 km² con una popolazione (al 2025) di 58.942.828 abitanti; il Friuli Venezia Giulia ha una superficie di 7.924 km² e una popolazione (al 2025) di 1.193.284 abitanti. La nostra regione rappresenta quindi circa il 2,6% del territorio nazionale e il 2,0% della popolazione residente. Questi valori possono costituire un utile riferimento per valutarne il peso relativo sistema energetico nazionale.

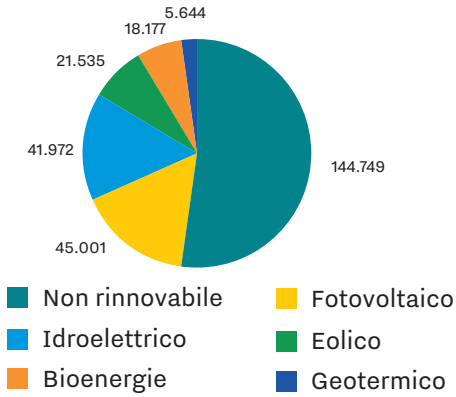


La diga di Crosis in una cartolina degli anni Sessanta del Novecento. È uno sbarramento ad arco-gravità parabolico e detiene il primato di prima diga al mondo con doppio arco parabolico a superficie convessa a monte. Costruita tra il 1898 e il 1900 su progetto di Arturo Malignani, è alta 38,80 metri, con uno sviluppo in cresta di 60 metri e uno spessore che passa dai 18 metri alla base ai 5,25 metri in cima.

→ Produzione di energia elettrica in Italia distinta per fonti



→ Produzione di energia elettrica in Italia da fonti rinnovabili



Le fonti di produzione di energia elettrica

Nei dati statistici di Terna le fonti sono suddivise tra:

- termoelettrica;
- fotovoltaica;
- eolica;
- idroelettrica;
- accumulo stand alone.

Nella produzione "termoelettrica" i dati Terna complessivi tengono conto non solo di quella prodotta per la vendita, ma anche quella prodotta da biomasse, da geotermia e quella autoconsumata nei siti produttivi (si pensi, ad esempio, alle cartiere, ben presenti nella nostra regione: solitamente tutta l'energia prodotta in cogenerazione in questi stabilimenti viene anche completamente autoconsumata). Nel calcolo della produzione da fonti rinnovabili, Terna tiene conto solo della produzione termoelettrica da biomasse e geotermia

Nella produzione "idroelettrica" i dati Terna complessivi tengono conto della produzione da acqua fluente, da bacino e da pompaggio. Per produzione idroelettrica da pompaggio si intende l'energia ottenuta facendo ripassare nelle turbine acqua precedentemente trasferita, mediante pompe alimentate con energia elettrica, da un bacino inferiore a uno superiore. Il pompaggio costituisce quindi una forma di accumulo dell'energia: l'energia successivamente prodotta non deriva da un nuovo apporto naturale di acqua, ma dalla restituzione, con le inevitabili perdite del ciclo, dell'energia precedentemente utilizzata per il sollevamento. Per questo motivo Terna, nel calcolo della produzione idroelettrica da fonti rinnovabili, esclude quella derivante dai pompaggi.

Per "accumulo stand alone" si intende invece un sistema di stoccaggio di energia elettrica connesso direttamente alla rete elettrica come entità autonoma e indipendente, che preleva energia dalla rete quando c'è un'eccedenza di produzione e la restituisce quando c'è maggiore richiesta. Nelle statistiche nazionali tale energia viene contabilizzata per consentire una corretta valutazione del bilancio energetico complessivo e della capacità di accumulo del sistema. Per motivi analoghi a quanto riportato più sopra per la produzione idroelettrica, tale energia non viene calcolata tra le fonti rinnovabili.

fonte	produzione	%
termoelettrico	165.317	59,7
fotovoltaico	45.001	16,2
idroelettrico[2]	43.728	15,8
eolico	21.535	7,8
accumulo stand alone	1.498	0,5
totale	**277.078**	**100,0**

Produzione di energia elettrica in Italia per fonte (GWh)

La produzione di energia elettrica in Italia

Secondo i dati consolidati del 2025, la produzione lorda nazionale di energia elettrica è stata pari a 277.078 GWh, in crescita del 2,3% rispetto al 2024.

Per un confronto, la produzione netta nazionale, al netto cioè dei consumi dei servizi ausiliari necessari al funzionamento degli impianti di produzione, è stata di 269.328 GWh pari a circa il 97%, mentre il consumo nazionale, comprensivo quindi delle importazioni e delle esportazioni, è stato di circa 312.200 GWh (i dati dei consumi 2025 non sono ancora stati consolidati al momento della stesura del presente articolo).

Riferendoci ai dati Terna del 2025, la produzione nazionale lorda risulta così ripartita tra le diverse fonti.

La ripartizione della produzione dalle sole fonti rinnovabili è riportata nella tabella seguente, tenendo conto che le produzioni da geotermia e da bioenergie sono già comprese nel totale della produzione termoelettrica della tabella precedente.

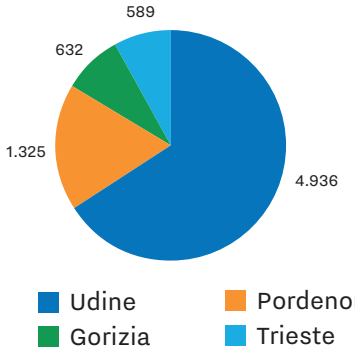
fonte	produzione	%
fotovoltaico	45.001	16,2
idroelettrico[3]	41.972	15,1
eolico	21.535	7,8
bioenergie	18.177	6,6
geotermico	5.644	2,0
totale	**132.330**	**47,8**

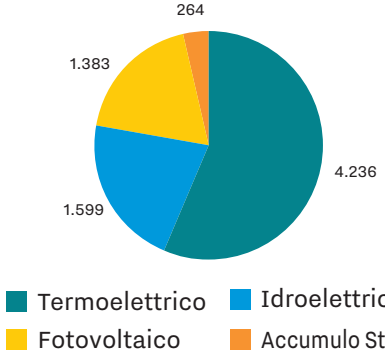
Produzione di energia elettrica in Italia da fonti rinnovabili (GWh). Le percentuali si riferiscono al totale della produzione nazionale da tutte le fonti

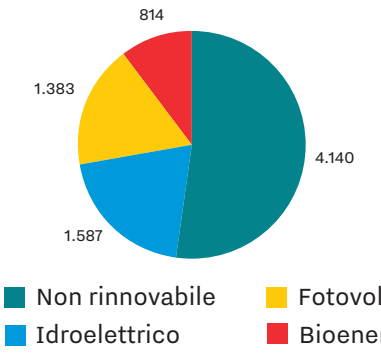
Particolarmente significativo è il contributo delle fonti rinnovabili, che rappresentano complessivamente il 47,8% della produzione elettrica nazionale.

La produzione elettrica nel Friuli Venezia Giulia

Secondo i dati consolidati del 2025, in Friuli Venezia Giulia la produzione lorda di energia elettrica è stata pari a 7.482 GWh di energia elettrica, in crescita del 11% rispetto al 2024,







quindi ben oltre la crescita dell'intero paese.

Per un confronto, la produzione netta regionale, cioè al netto dei consumi dei servizi ausiliari necessari al funzionamento degli impianti di produzione, è stata di 7.276 GWh, pari a circa il 97%, in linea con il dato nazionale. Il consumo regionale, comprensivo quindi delle importazioni e delle esportazioni, non è ancora noto, al momento della stesura del presente articolo.

Se confrontiamo la produzione di energia elettrica lorda della regione Friuli Venezia Giulia con la produzione delle altre regioni, nel 2025 questa si trova alla 13° posizione su 20 regioni[4].

Riferendoci ai dati Terna del 2025, la distribuzione della produzione lorda per provincia è la seguente.

Provincia	produzione	%
Udine	4.936	66,0
Pordenone	1.325	17,7
Gorizia	632	8,4
Trieste	589	7,9
totale	**7.482**	**100,0**

Produzione di energia elettrica per Provincia (GWh)

La suddivisione per fonti produttive dà invece questi risultati.

FVG	produzione	%
termoelettrico	4.236	56,6
idroelettrico[5]	1.599	21,4
fotovoltaico	1.383	18,5
accumulo Stand Alone	264	3,5
eolico	0	0,0
totale	**7.482**	**100,0**

Produzione di energia elettrica in FVG per fonte (GWh)

Come già ricordato, la produzione termoelettrica comprende anche la cogenerazione industriale e l'energia destinata all'autoconsumo. La distribuzione della produzione per fonte e per provincia è riportata nella tabella seguente.

fonte	UD	PN	GO	TS	FVG
termoelettrico	2.939	283	480	534	4.236
idroelettrico[6]	908	639	52	0	1.599
fotovoltaico	829	403	96	54	1.383
accumulo stand alone	261	0	3	0	264
eolico	0	0	0	0	0
totale	**4.936**	**1.325**	**632**	**589**	**7.482**

Produzione di energia elettrica in Friuli Venezia Giulia per fonte e per Provincia (GWh)

Considerando esclusivamente le fonti rinnovabili, il quadro regionale risulta il seguente, tenendo conto che la produzione da bioenergie è già compresa nel totale della produzione termoelettrica.

fonte	produzione	%
idroelettrico[7]	1.587	20,0%
fotovoltaico	1.383	17,5%
bioenergie	814	10,3%
totale	**3.784**	**47,8%**

Produzione di energia elettrica in FVG da fonti rinnovabili (GWh). Le percentuali si riferiscono al totale della produzione regionale da tutte le fonti

Le fonti rinnovabili contribuiscono per il 47,8% alla produzione elettrica del Friuli Venezia Giulia, un valore in linea con la media nazionale.

Il dato peraltro testimonia l'importanza delle risorse naturali disponibili sul territorio e il ruolo strategico assunto negli anni dall'idroelettrico e, più recentemente, dal fotovoltaico.

Produzione elettrica in FVG rispetto all'Italia

Nel 2025 la produzione elettrica nazionale è stata pari a 277.078 GWh, mentre il Friuli Venezia Giulia ha prodotto 7.482 GWh, corrispondenti al 2,7% del totale; il valore risulta sostanzialmente coerente con il peso territoriale e superiore al peso demografico della regione.

Il confronto tra le diverse fonti di produzione è il seguente.

fonte	Italia	FVG	%
termoelettrico	165.317	4.236	2,6%
fotovoltaico	45.001	1.383	3,1%
idroelettrico[8]	43.728	1.599	3,7%
eolico	21.535	0	0,0%
accumulo stand alone	1.498	264	17,6%
totale	**277.078**	**7.482**	**2,7%**

Confronto produzione totale Italia e regione FVG, per fonte (GWh)

Particolarmente interessante il dato relativo all'idroelettrico. Pur rappresentando solo il 2,6% della superficie italiana, il Friuli Venezia Giulia contribuisce con circa il 3,7%

←
Produzione di energia elettrica in Friuli Venezia Giulia per Provincia

Produzione di energia elettrica in Friuli Venezia Giulia per fonte

Produzione di energia elettrica in Friuli Venezia Giulia da fonti rinnovabili

dell'intera produzione idroelettrica nazionale.

Il dato relativo all'accumulo stand alone, pur rappresentando una quota molto elevata del totale nazionale, è influenzato dalla presenza di pochi impianti di rilevanti dimensioni e assume pertanto una limitata significatività statistica.

Possiamo anche confrontare le sole fonti rinnovabili, per vedere la differenza tra il mix nazionale e quello del Friuli Venezia Giulia. Il confronto tra le diverse fonti rinnovabili è riportato nella tabella seguente.

fonte	Italia	FVG	%
fotovoltaico	45.001	1.383	3,1%
idroelettrico[9]	41.972	1.587	3,8%
eolico	21.535	0	0,0%
bioenergie	18.177	814	4,5%
geotermico	5.644	0	0.0%
totale	**132.330**	**3.784**	**2,9%**

Confronto produzioni da fonti rinnovabili Italia e regione FVG (GWh).

L'apporto percentuale dell'idroelettrico "puro", cioè senza pompaggi, rispetto alla produzione nazionale è ancora maggiore, rispetto al dato della tabella precedente, e notevole è il peso delle bioenergie. Infine, come è noto, in Friuli Venezia Giulia non ci sono impianti eolici né impiantì geotermici.

Conclusioni

L'analisi dei dati relativi al 2025 evidenzia come il Friuli Venezia Giulia occupi una posizione significativa nel sistema elettrico nazionale, con una produzione lorda pari a circa il 2,7% del totale italiano. Si tratta di un valore sostanzialmente coerente con il peso territoriale e superiore al peso demografico della regione, che rappresenta il 2,6% della superficie nazionale e il 2,0% della popolazione.

Accanto a queste proporzionalità, emergono tuttavia alcune peculiarità che caratterizzano il sistema energetico regionale. La prima riguarda il ruolo particolarmente rilevante della produzione idroelettrica, che contribuisce per oltre il 21% alla produzione regionale e rappresenta circa il 3,7% dell'intera produzione idroelettrica italiana. Tale risultato è riconducibile sia alle caratteristiche morfologiche del territorio sia alla consolidata tradizione di sfruttamento energetico delle risorse idriche presenti nell'arco alpino e prealpino regionale.

Un secondo elemento di interesse è rappresentato dalla quota di energia prodotta da fonti rinnovabili. Nel Friuli Venezia Giulia essa raggiunge il 47,8% della produzione elettrica lorda complessiva, pari alla media nazionale. Questo dato conferma come il sistema energetico regionale sia già oggi caratterizzato da un'importante presenza di fonti rinnovabili, grazie al contributo dell'idroelettrico, del fotovoltaico e delle bioenergie.

Permane tuttavia un ruolo significativo della produzione termoelettrica, che rappresenta ancora oltre la metà dell'energia elettrica generata in regione. Tale valore è influenzato dalla presenza di impianti industriali dotati di sistemi di cogenerazione e autoproduzione energetica, particolarmente diffusi in alcuni comparti manifatturieri regionali.

Nel complesso, il quadro che emerge è quello di una regione energeticamente dinamica, caratterizzata da un mix produttivo equilibrato e da una presenza delle fonti rinnovabili nella media nazionale.

In prospettiva, l'evoluzione delle tecnologie di accumulo, l'ulteriore diffusione del fotovoltaico e gli interventi di efficientamento delle infrastrutture energetiche potranno contribuire a rafforzare ulteriormente il ruolo del Friuli Venezia Giulia nel percorso di transizione energetica che interessa l'intero Paese.

NOTA 1
https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche
https://dati.terna.it/generazione/dati-statistici#produzione/energia-elettrica-fonte

NOTA 2
Nel dato è compresa la produzione derivante da pompaggi pari a 1.756 GWh.

NOTA 3
Esclusa la produzione derivante da pompaggi

NOTA 4
La regione Lombardia si colloca al 1° posto con 53.854 GWh, le Marche all'ultimo con 2.619 GWh

NOTA 5
Compresa la produzione derivante da pompaggi pari a 12 GWh per tutto il FVG

NOTA 6
Compresa la produzione derivante da pompaggi pari a 12 GWh per tutto il FVG

NOTA 7
Esclusa la produzione derivante da pompaggi

NOTA 8
Compresa la produzione derivante da pompaggi

NOTA 9
Esclusa la produzione derivante da pompaggi

Attività ingegneristica e innovazione

ANTONIO IULIANO, ingegnere, Innovation manager e certificatore R&S

Rassegna tecnica, a partire da questo numero, pubblicherà alcuni articoli che porteranno il lettore a riflettere su una questione di portata generale: la risoluzione di un problema tecnico non arricchisce un'esperienza di progettazione ma va considerata come un utile insegnamento per utilizzare le conoscenze acquisite e sviluppare qualcosa di nuovo. Questi i temi che saranno affrontati.

Il primo. **Risolvere un problema non basta: dalla soluzione tecnica alla conoscenza aziendale.**
Si parte da un caso concreto: una macchina che dà problemi solo quando viene spinta a prestazioni più alte. Ma non è tanto l'aspetto che interessa raccontare, quanto quello che resta dopo che la commessa è chiusa – le ipotesi che erano state fatte, le prove, le cause scartate, tutto quello che quell'esperienza lascia all'impresa. Il concetto da sviluppare è che una soluzione tecnica vale doppio se si riesce a riprenderla e riusarla, invece di lasciarla confinata all'interno del singolo progetto.

Il secondo. **Quando la progettazione diventa ricerca e sviluppo.**
Dal primo tema nasce il contenuto del secondo: quando un problema tecnico diventa vera ricerca e sviluppo? Non basta guardare quanto è complesso o quante prove siano occorse per risolverlo: la vera domanda da porre è se la soluzione fosse presente già nel bagaglio dell'azienda o se sia stato necessario costruire nuove conoscenze attraverso ipotesi, sperimentazioni e analisi dei risultati. L'ambizione è di riuscire ad allontanarsi da una impostazione di carattere normativo per arrivare a un racconto che ponga in evidenza il punto di vista di chi in azienda deve decidere quale strada prendere.

Il terzo. **Dalle prove all'apprendimento: come nasce la conoscenza tecnica.**
In questo contributo verrà spiegato come si può passare da una generica affermazione del tipo "proviamo un po' di cose" a un vero percorso sperimentale: definire il problema, fare ipotesi, scegliere cosa testare, leggere i risultati e arrivare a una conoscenza nuova. Da prendere in considerazione sono anche le prove che falliscono: una verifica che dà esito negativo toglie di mezzo un'ipotesi sbagliata e indirizza meglio per il passo successivo.

Il quarto. **Dalla conoscenza al prodotto: quando la ricerca diventa innovazione.**
Qui si parla del trasferimento inteso come criterio e metodo maturato nello studio di un fenomeno tecnico durante un progetto che finisca per essere usato per sviluppare un prodotto nuovo, un impianto nuovo, un processo nuovo. È un argomento che potrà interessare parecchio le aziende che lavorano su commessa, perché spesso arrivano a soluzioni avanzatissime ma poi non riescono a farle diventare patrimonio comune dell'organizzazione.

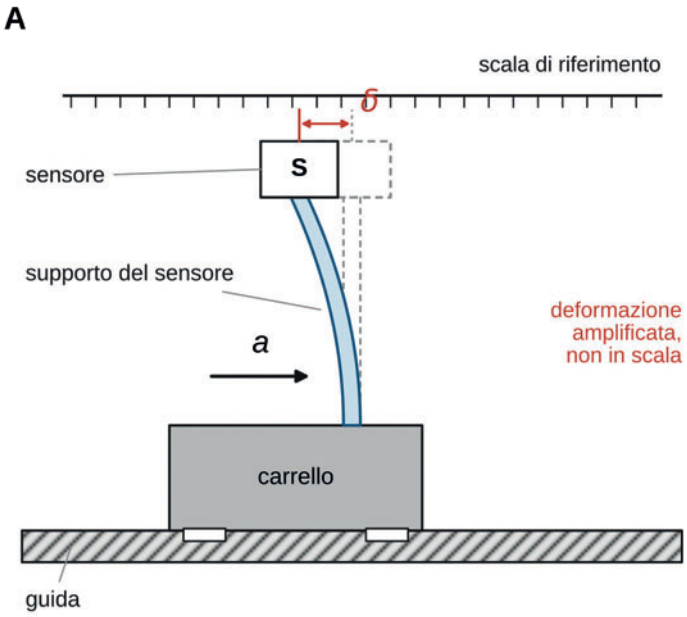
Il quinto. **Innovare con metodo: collegare conoscenza, tecnologia e investimenti.**
L'ultima puntata estende il discorso dal singolo progetto alla strategia d'impresa. Ricerca e sviluppo, investimenti in tecnologia, formazione, strumenti di sostegno, di solito vengono trattati come cose separate, quasi mai sinergiche. Nelle imprese che riescono a gestire questi elementi in modo coordinato, essi fanno parte dello stesso percorso di crescita. Il messaggio finale è riservato alla considerazione che innovare bene non dipende da un investimento isolato o da uno strumento agevolativo preso a sé, ma dalla capacità di tenere insieme un percorso coerente nel tempo.

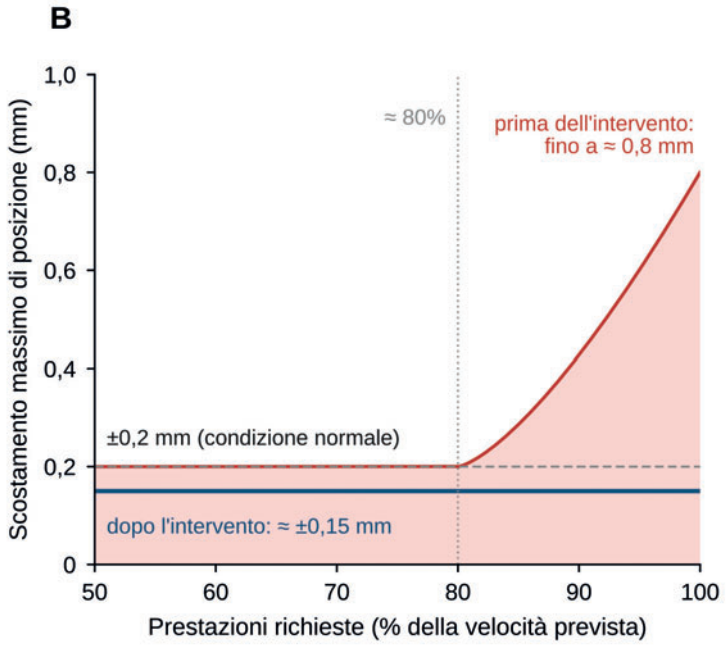
Risolvere non basta: dalla soluzione tecnica alla conoscenza aziendale

Nell'articolo pubblicato sul numero 407 della *Rassegna Tecnica* abbiamo visto perché innovare non coincide con fare ricerca e sviluppo. Scendiamo ora nel lavoro quotidiano di chi progetta e costruisce, partendo da un caso.

Quando la macchina sbaglia solo se corre

Un'unità automatizzata di movimentazione è progettata per un tempo ciclo di circa 4,5 secondi. Nelle prime prove funziona regolarmente fino a circa l'80% della velocità prevista; poi, aumentando le prestazioni, compaiono errori intermittenti di posizionamento. Lo scostamento, normalmente entro ±0,2 millimetri, in alcuni cicli sale a circa 0,8 mm e compromette la fase successiva.





Le verifiche iniziali non evidenziano anomalie: l'azionamento non genera allarmi, il sensore rispetta le specifiche, i giochi meccanici sono in tolleranza. Riducendo l'accelerazione da 3,5 a 2,5 m/s² gli errori diminuiscono, ma il tempo ciclo supera i 5 secondi. Si modificano allora la posizione del sensore e la finestra di acquisizione del segnale: il comportamento migliora, ma alle accelerazioni più elevate alcune anomalie persistono.

Il confronto tra i dati di posizione e le misure effettuate sul gruppo meccanico mette infine in evidenza, in corrispondenza delle fasi di maggiore sollecitazione dinamica, uno spostamento temporaneo del supporto del sensore dell'ordine di alcuni decimi di millimetro, sufficiente a spiegare lo scostamento osservato.

Si interviene su rigidezza del supporto, profilo di accelerazione e logica di acquisizione. Lo scostamento rientra in circa ±0,15 millimetri, con un tempo ciclo prossimo a quello previsto. Il problema è risolto e la commessa prosegue. Una volta chiusa la commessa, che cosa rimane davvero del percorso tecnico che ha portato alla soluzione?

Che cosa resta dopo la commessa

Spesso restano il disegno finale, qualche e-mail, un verbale di collaudo. Più raramente rimane il percorso: ipotesi, soluzioni scartate, prove inattese e ciò che l'impresa ha imparato. Nelle PMI molto di questo sapere resta nelle persone: il progettista ricorda perché una soluzione è stata abbandonata, il responsabile di produzione sa quale modifica ha eliminato un'anomalia, il manutentore conosce il comportamento reale della macchina meglio di quanto emerga dalla documentazione.

Finché il gruppo resta lo stesso, il sistema regge. Con il tempo, se cambiano le persone o la criticità si ripresenta, l'impresa rischia di ripetere verifiche e decisioni già affrontate.

Se tra due anni una macchina analoga mostrasse lo stesso sintomo, chi saprebbe dire in mezz'ora quali verifiche sono già state fatte e con quali esiti?

In questo esempio l'impresa ha capito che la precisione dipende dall'interazione tra rigidezza strutturale, profilo di moto e acquisizione del segnale, e non da un componente fuori specifica. Conoscere quale configurazione funziona serve fino a un certo punto; sapere perché funziona, entro quali limiti e in base a quali relazioni permette di trasferire quella conoscenza a una macchina diversa.

È ricerca e sviluppo? Un caso volutamente ambiguo

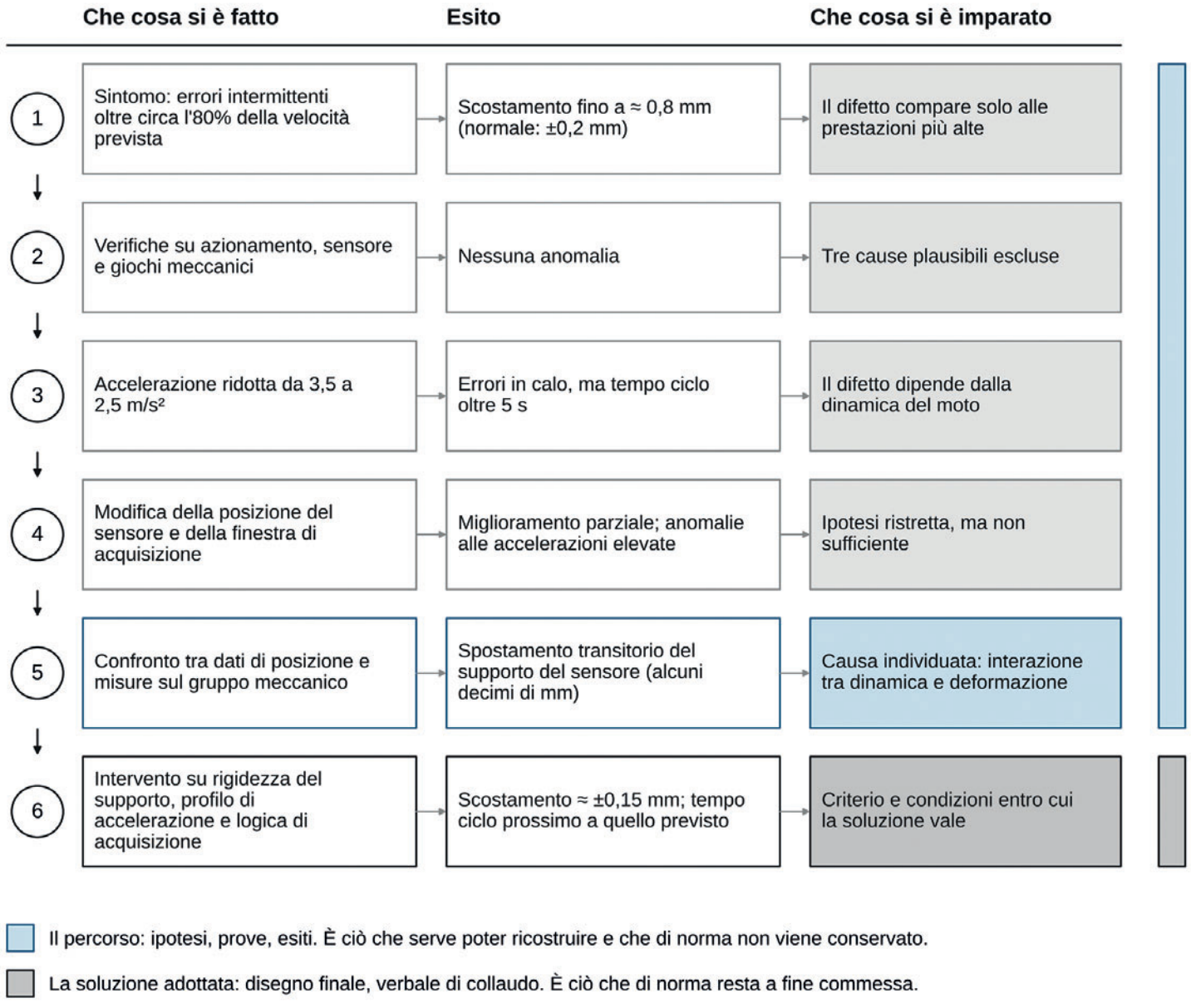
Non ogni problema affrontato da un'impresa è ricerca e sviluppo: molti rientrano nella normale progettazione, nell'adattamento di soluzioni note, nell'ottimizzazione ordinaria di un processo. Un progettista esperto potrebbe osservare che la rigidezza del supporto andava verificata subito, e avrebbe ragione se quella verifica fosse stata la semplice applicazione di conoscenze già disponibili.

Il punto è: capire se la soluzione fosse già sostanzialmente nota o se fosse necessario formulare ipotesi, verificarle e rivederle alla luce dei risultati. Il *Manuale di Frascati* richiama, tra gli elementi caratterizzanti, l'incertezza sul risultato e il carattere sistematico del lavoro. Non basta quindi aver svolto delle prove: questi aspetti vanno letti nel contesto concreto del progetto.

C'è poi un secondo elemento. Sistemare quella macchina è un obiettivo puntuale; studiare come si comportano, in generale, supporti, profili di moto e acquisizione del segnale, fino a ricavare un criterio applicabile anche ad altre macchine, è un'altra cosa. Quando il lavoro mira a produrre conoscenza nuova attraverso un percorso sistematico di analisi e sperimentazione, e

↑
Figura 1
Deformazione del supporto e scostamento di posizione al crescere delle prestazioni

↓
Figura 2
Dal percorso di prova alla conoscenza acquisita

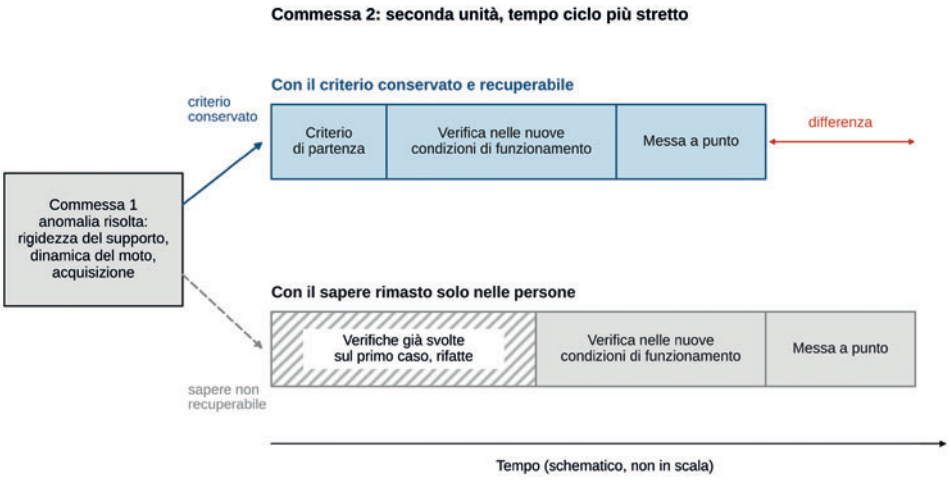


quanto appreso può essere utilizzato anche oltre il caso specifico, il problema iniziale smette di essere soltanto una criticità da risolvere e diventa il punto di partenza di un possibile percorso di ricerca e sviluppo.

Strutturare senza burocratizzare

Proporre alle PMI di strutturare i percorsi di sviluppo suscita un'obiezione comprensibile: nuove procedure possono appesantire attività che oggi funzionano grazie al confronto diretto tra le persone. Senza creare un reparto R&S o nuovi moduli, spesso basta rendere riconoscibili passaggi già presenti: chiarire il problema iniziale, individuare ciò che le conoscenze disponibili non permettono di risolvere, conservare le ipotesi principali, le prove signifi-

↓
Figura 3
Il riuso della conoscenza tecnica in una commessa successiva



cative, le modifiche e le conclusioni.

Per l'esempio descritto sarebbero bastate poche righe: il sintomo, le prime verifiche su azionamento, sensore e giochi meccanici, le prove a ridotta accelerazione, i dati sulla deformazione del supporto, la soluzione adottata e le condizioni in cui ha dato il risultato atteso. Il criterio è semplice: lasciare a un collega, tra due anni, ciò che gli serve per non ripartire da zero.

Molte informazioni esistono già, nelle revisioni dei disegni, nei file di calcolo, nei rapporti di prova, nei dati macchina e nei report di collaudo. Se questi documenti permettono di ricostruire la sequenza delle decisioni e il motivo per cui sono state prese, possono già costituire la memoria tecnica del progetto, senza produrre altra documentazione.

Per chi lavora su commessa, un'attività nata per un singolo cliente può produrre indicazioni utili per altri prodotti e altri impianti, e continua a servire anche dopo la consegna se resta leggibile e recuperabile.

Anche ciò che non ha funzionato produce conoscenza

Nella documentazione aziendale sopravvivono soprattutto le soluzioni riuscite: il disegno definitivo sostituisce le revisioni, il componente scelto prende il posto di quelli scartati. È naturale, ma una parte dell'informazione va perduta.

Nel caso descritto, la riduzione dell'accelerazione e lo spostamento del sensore non hanno risolto il problema. Hanno però ristretto il campo delle ipotesi. La prova a 2,5 m/s², in particolare, ha mostrato una chiara correlazione tra il difetto e le condizioni dinamiche di funzionamento, indirizzando le verifiche successive. Un'ipotesi smentita, se annotata, evita a chi arriva dopo di doverla riprovare. Sono informazioni che costano ore di prove: se si perdono, si pagano una seconda volta. Bastano pochi appunti presi mentre si lavora, senza trasformare il tecnico in un compilatore di documenti.

Dalla soluzione alla capacità di innovare

Risolvere problemi tecnici non significa necessariamente imparare da questi. Se la conoscenza resta legata a una persona o a una singola commessa rischia di andare perduta; se può essere recuperata e discussa, entra nei progetti successivi.

Si pensi a una seconda unità di movimentazione, richiesta da un altro cliente con un tempo ciclo ancora più stretto.

Se dal primo caso fosse emerso, e fosse stato conservato, un criterio più generale sul rapporto tra rigidezza del supporto, dinamica del moto e affidabilità dell'acquisizione, il progettista potrebbe assumerlo come punto di partenza per la nuova macchina e utilizzare le prove successive per verificarne l'applicabilità alle diverse condizioni di funzionamento. In caso contrario, dovrebbe in buona parte ripercorrere verifiche già svolte.

Se un domani il progettista che ha risolto l'ultima criticità importante lasciasse l'azienda, che cosa resterebbe di quel lavoro?

Navier-Stokes, il problema del millennio e il contributo dell'IA

ALEX TUAN, ingegnere

Le equazioni di Navier–Stokes permettono di calcolare il moto dell'acqua in una condotta e dell'aria attorno a un velivolo. Eppure, in tre dimensioni, resta aperta una domanda sulla regolarità delle loro soluzioni. La proposta annunciata da OpenAI nel settembre 2026 affronta il problema con una costruzione matematica assistita dall'IA, oggi sottoposta all'esame della comunità scientifica.

Una pompa, una carena e un impianto di ventilazione pongono domande diverse al progettista: quanta energia occorre per spostare il fluido, quale resistenza incontra una superficie, dove si formano i ricircoli? Le equazioni di Navier–Stokes forniscono una base comune per affrontarle. Descrivono il moto dei fluidi e permettono di ricavare pressioni, velocità, forze sulle superfici e perdite di carico. Il loro impiego quotidiano nei programmi di calcolo non esaurisce però le questioni matematiche. Per un fluido incomprimibile in tre dimensioni, si può garantire che una soluzione inizialmente regolare rimanga tale per ogni tempo? Oppure le equazioni ammettono condizioni nelle quali la velocità diventa illimitata in un tempo finito? È il problema di esistenza e regolarità inserito dal Clay Mathematics Institute fra i *Problemi del Millennio.*

Per capire che cosa rivendichi il lavoro di OpenAI occorre partire dal significato fisico delle equazioni, distinguere il calcolo numerico dalla dimostrazione e precisare le condizioni ammesse dall'enunciato del premio.

Un modello comune a molte discipline dell'ingegneria

Le equazioni prendono il nome da Claude-Louis Navier e George Gabriel Stokes, che contribuirono nell'Ottocento alla formulazione della meccanica dei fluidi viscosi. Il modello considera il fluido come un mezzo continuo: velocità e pressione sono definite nei punti dello spazio, senza dover ricostruire individualmente il movimento delle molecole.

Questa rappresentazione permette di applicare i principi della meccanica a un elemento di fluido. Il bilancio della quantità di moto mette in relazione le accelerazioni con le azioni dovute alla pressione, alla viscosità e alle forze esterne. A esso si associa la conservazione della massa; quando il problema comprende variazioni termiche o di densità, occorrono ulteriori relazioni di bilancio e costitutive [1].

Nel caso di un fluido newtoniano incomprimibile, con densità e viscosità costanti, la formulazione può essere espressa come:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\Delta u + f, \quad \nabla \cdot u = 0$$

dove il vettore u indica la velocità, p la pressione, ρ la densità e ν la viscosità cinematica; f rappresenta la forza esterna per unità di massa.

La seconda relazione esprime l'incomprimibilità. Il termine non lineare $(u \cdot \nabla)u$ descrive la variazione della velocità associata allo spostamento nel fluido [2].

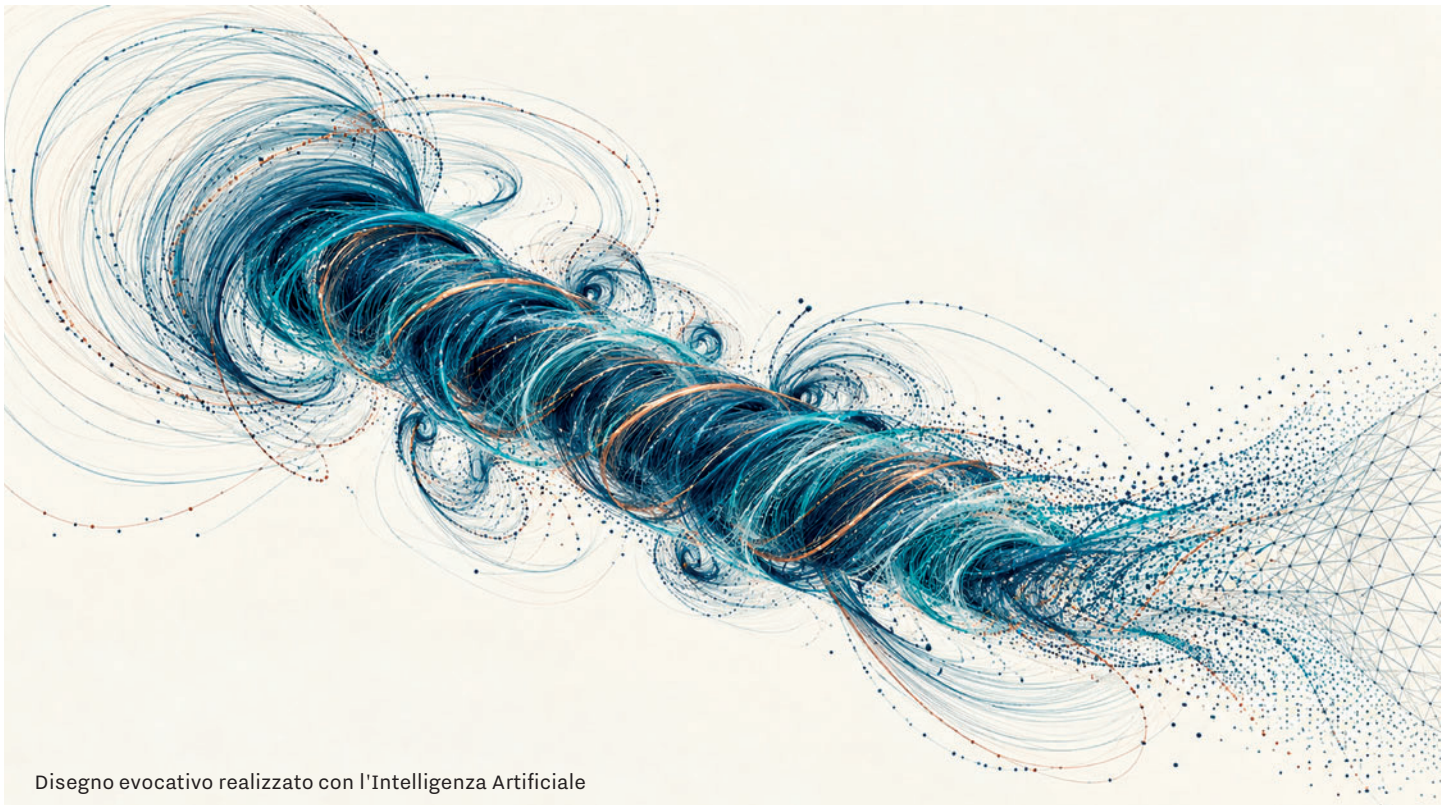
Per comprenderne il significato fisico si può considerare un tratto di condotta a sezione variabile. Anche quando il moto è stazionario, e quindi le grandezze non cambiano nel tempo in un punto fissato, una particella fluida può accelerare attraversando zone caratterizzate da velocità diverse. Il trasporto della quantità di moto dipende dunque dal campo di velocità che si sta cercando di determinare. Questa dipendenza reciproca è una delle ragioni della complessità del sistema.

La viscosità introduce invece una diffusione della quantità di moto, opponendosi alle differenze di velocità fra regioni vicine. Sul piano fisico ciò si traduce in attrito interno e dissipazione; sul piano matematico determina un effetto regolarizzante. La difficoltà nasce dalla competizione fra tale effetto e i meccanismi non lineari che possono intensificare e concentrare il movimento.

Dalle equazioni al calcolo progettuale

Nella pratica professionale la risoluzione passa generalmente attraverso la fluidodinamica computazionale, indicata con l'acronimo CFD. Il dominio viene discretizzato e il problema continuo tradotto in un sistema numerico, utilizzando metodi quali volumi finiti, elementi finiti o differenze finite. Il risultato consiste in un'approssimazione delle grandezze del moto, riferita a geometria, condizioni iniziali e condizioni al contorno definite [1].

In una carena, per esempio, la



Disegno evocativo realizzato con l'Intelligenza Artificiale

distribuzione delle pressioni e gli sforzi tangenziali concorrono a determinare la resistenza all'avanzamento. In un circuito idraulico interessa conoscere il rapporto fra portata e perdite di carico. Nella ventilazione di un ambiente, la disposizione delle bocchette condiziona ricircoli, distribuzione delle velocità ed efficacia del ricambio. Le domande progettuali cambiano, mentre rimane comune l'esigenza di descrivere correttamente il trasporto della quantità di moto.

Nelle applicazioni turbolente si introducono spesso modelli aggiuntivi. Un esempio è costituito dalle equazioni mediate di Reynolds, o RANS, che descrivono il moto medio e richiedono una rappresentazione dell'effetto delle fluttuazioni. La scelta del modello e delle condizioni al contorno fa quindi parte del problema ingegneristico [3].

Wind-US e il percorso di una simulazione

Wind-US è un esempio di software impiegato per questi calcoli. È sviluppato nell'ambito della NPARC Alliance, collaborazione fra il NASA Glenn Research Center e l'Arnold Engineering Development Complex dell'aeronautica militare statunitense. Il suo nucleo è un solutore, cioè un programma che calcola approssimazioni delle equazioni del moto su una griglia. Consente di risolvere le equazioni di Eulero e di Navier–Stokes e comprende modelli per la turbolenza e per i flussi con reazioni chimiche. In questi ultimi, come nelle camere di combustione dei motori, il movimento del fluido si accompagna a trasformazioni della composizione chimica e a scambi di energia [8].

L'impiego del programma si inserisce in un percorso più ampio. Prima del calcolo si preparano la geometria, la griglia e le condizioni al contorno; successivamente si analizzano i risultati. La documentazione comprende strumenti dedicati, come GMAN per l'impostazione delle condizioni al contorno e delle

Caso	Dominio	Forza esterna	Enunciato da dimostrare
A	Spazio intero $\mathbb{R}^3$	Assente f = 0	Per ogni dato iniziale ammissibile esiste una soluzione liscia per tutti i tempi t ≥ 0, con energia cinetica uniformemente limitata.
B	Dominio periodico $\mathbb{R}^3/\mathbb{Z}^3$	Assente f = 0	Per ogni dato iniziale ammissibile esiste una soluzione liscia per tutti i tempi t ≥ 0, con velocità periodica nello spazio.
C	Spazio intero $\mathbb{R}^3$	Liscia e ammissibile	Esistono un dato iniziale e una forza ammissibili per i quali non esiste una soluzione globale liscia con energia uniformemente limitata.
D	Dominio periodico $\mathbb{R}^3/\mathbb{Z}^3$	Liscia, periodica e ammissibile	Esistono un dato iniziale e una forza ammissibili per i quali non esiste una soluzione globale liscia con velocità periodica nello spazio.



←
Figura 1
Azioni su un elemento di fluido: pressione, sforzi viscosi e forze di volume concorrono al bilancio della quantità di moto. Lo schema è di tipo qualitativo: le frecce indicano le azioni, non la loro intensità

→
Figura 2
Percorso di una simulazione con un solutore come Wind-US. Preparazione, calcolo e valutazione dei risultati costituiscono fasi distinte [8]. Una soluzione numerica va valutata insieme alle ipotesi del modello e alle verifiche di accuratezza

connessioni fra zone della griglia, e CFPOST per l'esame dei campi calcolati. La NPARC Alliance mette inoltre a disposizione casi di validazione e dati analitici, numerici e sperimentali per il confronto [8].

Nell'analisi di un condotto, il tecnico assegna la geometria, le condizioni di ingresso e uscita e le proprietà del fluido. Il solutore restituisce pressioni e velocità nei punti della griglia. Prima di utilizzare questi valori per il dimensionamento occorre controllare la convergenza del calcolo, la sensibilità al raffinamento della griglia e l'adeguatezza delle ipotesi fisiche.

La questione che ha portato al premio del millennio

Il problema matematico riguarda l'esistenza di soluzioni regolari per ogni tempo, oppure la possibilità che tale proprietà venga meno. La formulazione ufficiale di Charles L. Fefferman distingue quattro alternative, indicate con le lettere A, B, C e D [2].

Le quattro formulazioni del Clay Mathematics Institute

Si considera una viscosità $\nu > 0$ e un dato iniziale liscio e a divergenza nulla. Nello spazio intero $\mathbb{R}^3$ il dato e tutte le sue derivate devono decadere rapidamente all'infinito; nel caso periodico si ripetono nelle tre direzioni, sul toro tridimensionale $\mathbb{R}^3/\mathbb{Z}^3$. Le conclusioni richieste sono sintetizzate di seguito [2].

Per C la forza e tutte le sue derivate devono decadere rapidamente nello spazio e nel tempo; per D la forza è periodica nello spazio e decade rapidamente nel tempo, insieme alle derivate. "Globale" significa definita per ogni $t \geq 0$. È sufficiente dimostrare una delle quattro alternative: non sono quattro fasi successive [2].

La diversa ipotesi sulla forza è decisiva: A e B chiedono regolarità universale senza forzante, mentre C e D ammettono una forzante nella costruzione del controesempio. Una prova di C o D con forza non nulla non confuta automaticamente A o B. Il lavoro discusso nell'articolo rivendica precisamente C e D; la verifica deve accertare tutte le condizioni previste, oltre alla formazione della singolarità [2, 5].

Nel 2000 il Clay Mathematics Institute inserì questa questione fra i sette *Problemi del Millennio,* assegnando a ciascuno un premio di un milione di dollari. Il riconoscimento riguarda problemi fondamentali, la cui soluzione può richiedere nuovi strumenti concettuali e aprire sviluppi in altri settori della matematica [4].

Una simulazione segue un numero finito di variabili, su una griglia e per un intervallo di tempo assegnati. Il problema del millennio chiede invece di stabilire che cosa accada alle soluzioni delle equazioni continue, anche quando il moto si concentra su scale sempre più piccole. Un aumento dei valori calcolati può dipendere da una risoluzione insufficiente o da un'instabilità dello schema numerico: da solo, non dimostra la formazione di una singolarità.

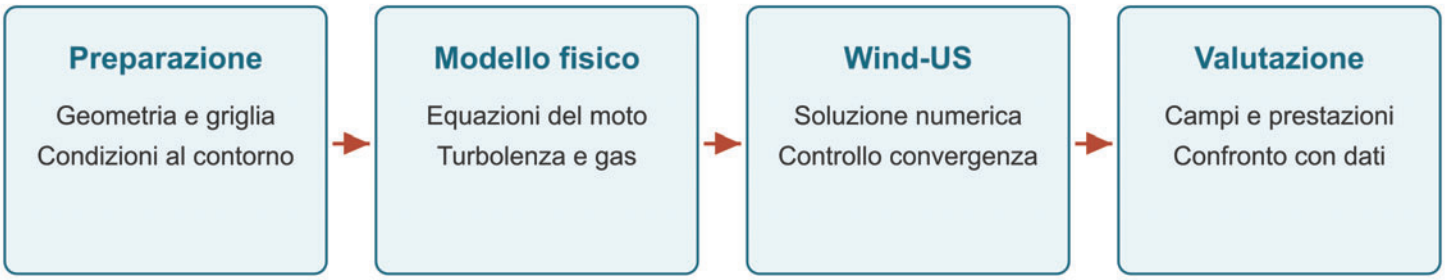
Anche il termine "singolarità" va inteso con precisione. Nel risultato annunciato riguarda una velocità che cresce senza limite all'avvicinarsi di un istante finito. La turbolenza, invece, può presentare un moto molto complesso pur mantenendo velocità finite: i due concetti non sono equivalenti. Il problema del millennio pone una domanda sulla struttura delle equazioni, mentre la previsione ingegneristica della turbolenza comprende ulteriori difficoltà di modellazione e calcolo.

Il risultato proposto e il ruolo della forza esterna

Il manoscritto diffuso da OpenAI parte da un fluido inizialmente fermo, sottoposto a una forza esterna liscia. In matematica, "liscia" significa dotata di derivate continue di ogni ordine rispetto allo spazio e al tempo: la forza può variare, ma senza salti o discontinuità. È inoltre diversa da zero soltanto in una regione limitata e per un intervallo finito. Con queste condizioni, gli autori propongono una soluzione la cui velocità diventa illimitata in tempo finito, mentre l'energia cinetica totale rimane limitata. La costruzione rivendica le alternative C e D del problema [5].

Il meccanismo descritto comprende un vortice il cui nucleo si contrae, con componenti di moto dirette verso l'asse e lungo l'asse stesso. La difficoltà consiste nel controllare il bilancio dinamico: assegnare arbitrariamente una velocità divergente rischierebbe di richiedere anche una forza divergente. Gli autori introducono oscillazioni e correzioni successive affinché i contributi singolari si compensino e la forza conservi la regolarità richiesta. Il controllo di queste compensazioni costituisce un passaggio essenziale della prova [5].

La possibilità di avere velocità



illimitata ed energia limitata non costituisce, da sola, una contraddizione. L'energia dipende dall'integrale spaziale del quadrato della velocità. Un massimo crescente può essere compatibile con un integrale limitato se interessa una regione che si restringe abbastanza rapidamente. È una distinzione fra comportamento locale e quantità complessiva, rilevante anche nella lettura dei risultati numerici.

Se confermato, il controesempio con forza esterna soddisferebbe un'alternativa accettata dal Clay. Il caso generale senza forzante richiederebbe comunque un ulteriore argomento. La soluzione dell'enunciato del premio lascerebbe dunque spazio ad altre questioni fondamentali della meccanica dei fluidi [2].

Come è stata impiegata l'Intelligenza Artificiale

L'annuncio dell'8 settembre 2026 attribuisce il lavoro a un modello interno di OpenAI inserito in un sistema di agenti coordinati. Il riferimento al normale ChatGPT è pertanto improprio. Secondo il resoconto aziendale, il gruppo che ha prodotto il risultato comprendeva circa diecimila agenti contemporanei, dotati di strumenti per consultare materiale ed eseguire codice. Le esplorazioni affrontavano diverse formulazioni del problema e i risultati intermedi venivano raccolti e condivisi per orientare i passaggi successivi.

OpenAI riferisce circa 88 ore per giungere alla proposta e altre 17 ore per la formalizzazione e verifica in Lean. Sono dati dichiarati dall'azienda, utili a comprendere la scala dell'esperimento; non rappresentano una verifica indipendente della dimostrazione [6].

Il sistema descritto distribuisce l'esplorazione fra molti tentativi e mette in comune i risultati intermedi. Un passaggio utile può così essere ripreso da altri agenti, mentre una strada infruttuosa può essere abbandonata. La selezione dei risultati è cruciale: anche un errore, se accettato come premessa, può condizionare le elaborazioni successive.

Verifica formale e valutazione scientifica

Lean è un linguaggio di programmazione open-source e un assistente alla dimostrazione, cioè un ambiente nel quale si possono scrivere enunciati matematici e costruire prove verificabili dal computer. Per utilizzarlo occorre rendere espliciti gli oggetti trattati, le ipotesi e la conclusione. Una dimostrazione espressa in prosa viene quindi tradotta in una struttura formale, nella quale i passaggi devono rispettare regole logiche precise [9].

Al centro del sistema si trova il kernel, il nucleo che controlla la correttezza della prova formale rispetto alle definizioni e alle assunzioni utilizzate. Gli strumenti di automazione aiutano a costruire la prova; il controllo finale è affidato a questo nucleo. La libreria matematica Mathlib raccoglie definizioni e risultati già formalizzati, riutilizzabili come base per nuovi sviluppi. Un sistema di IA può proporre passaggi o produrre codice Lean, mentre Lean svolge il ruolo di ambiente di formalizzazione e verifica [9].

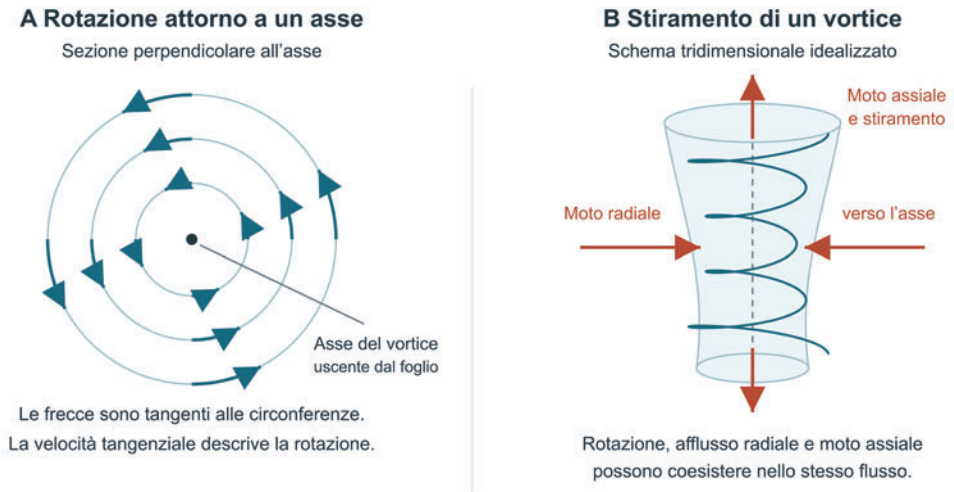
La distinzione si comprende con un esempio elementare. Se si vuole dimostrare una proprietà per tutti i numeri reali, una prova valida soltanto per i numeri positivi risponde a un enunciato più ristretto. Il verificatore può accettare correttamente quella prova, ma resta da controllare che la restrizione fosse prevista dal problema iniziale. Nelle equazioni dei fluidi, differenze analoghe possono riguardare regolarità, dominio, forza esterna o significato di una soluzione. Il controllo logico del codice e la fedeltà della traduzione matematica devono quindi essere esaminati entrambi.

Questo punto è oggetto di una critica specifica. In un preprint del 6 ottobre 2026, Alexander Bastounis, Fabian Circelli e Anders C. Hansen sostengono che la formalizzazione Lean del lavoro di OpenAI non corrisponda alla dimostrazione esposta nel testo. Anche tale analisi deve essere valutata scientificamente; la sua presenza impone però di distinguere l'annuncio dalla convalida conclusiva [7].

Il Clay Mathematics Institute, nella comunicazione dell'11 settembre, aveva accolto con interesse la prospettiva di una soluzione, richiamando il carattere deliberatamente non affrettato della valutazione e dell'attribuzione dei meriti. Alla data di questo articolo, il 12 ottobre 2026, il quadro documentale citato richiede quindi di parlare di una proposta di soluzione sottoposta a esame [4].

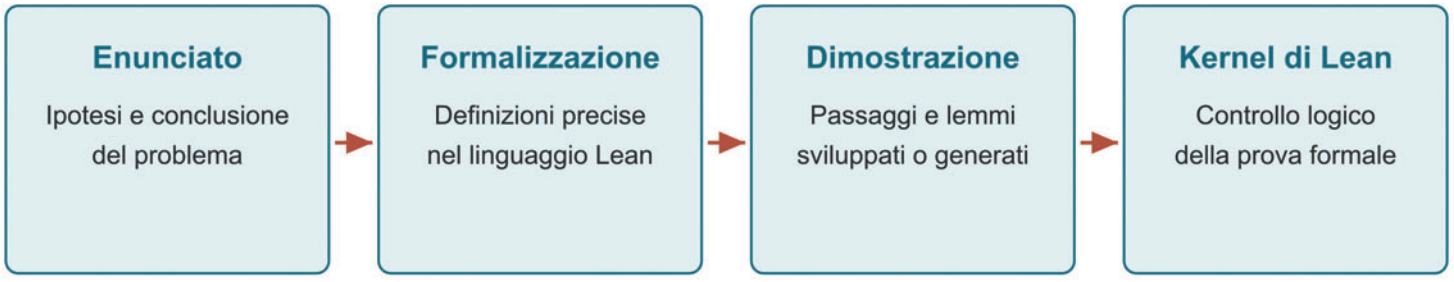
Che cosa cambia per il progettista

Il risultato proposto non modifica oggi il modo di dimensionare una pompa o verificare un condotto. Il progettista continua a dover



←
Figura 3
Anatomia di un vortice. A: la velocità tangenziale circola attorno all'asse. B: esempio qualitativo di rotazione associata ad afflusso radiale e stiramento assiale. La vorticità $\omega = \nabla \times u$ descrive la rotazione locale; lo stiramento può intensificarla, mentre la viscosità tende a diffonderla. Non ogni vortice presenta afflusso radiale o stiramento, né la loro presenza dimostra una singolarità [5].

↓
Figura 4
Dall'enunciato alla verifica in Lean. Il kernel controlla la prova formalizzata; la corrispondenza fra formalizzazione e problema originario richiede un esame specifico [7, 9].
Verifica distinta: accertare che l'enunciato formalizzato corrisponda al problema originario



scegliere un modello adatto alle condizioni operative, controllare il calcolo e confrontarlo, quando possibile, con misure sperimentali. Né una velocità matematicamente illimitata va interpretata come una previsione direttamente trasferibile a un fluido reale: nelle condizioni estreme occorre riesaminare la validità delle ipotesi del modello continuo.

La novità riguarda piuttosto il lavoro di ricerca. L'esperimento descritto da OpenAI affida a un sistema di IA una parte dell'esplorazione matematica e della formalizzazione. Per valutarne l'esito servono il testo della dimostrazione, il codice della prova e un controllo della corrispondenza fra i due. La discussione su Lean riguarda proprio quest'ultimo passaggio.

Alla data di questo articolo (12 ottobre 2026) la conclusione resta quindi circoscritta: OpenAI ha annunciato una proposta per le formulazioni con forza esterna, sulla quale sono state sollevate obiezioni. Se la verifica ne confermerà la validità, sarà soddisfatta una delle alternative previste dal premio; rimarrà da affrontare il caso generale senza forzante. È su questi enunciati precisi, e sulla tenuta dei singoli passaggi della prova, che si misurerà il contributo dell'IA.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] NASA, Navier–Stokes Equation. *https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/navier-strokes-equation/*

[2] Charles L. Fefferman, Existence and Smoothness of the Navier–Stokes Equation, Clay Mathematics Institute. *https://www.claymath.org/wp-content/uploads/2022/06/navier-stokes.pdf*

[3] NASA, Wind-US User's Guide. *https://www.grc.nasa.gov/www/winddocs/user/physical.html*

[4] Clay Mathematics Institute, Navier–Stokes Announcement. *https://www.claymath.org/news/navier-stokes-announcement/*

[5] OpenAI, Finite Time Blowup for Navier–Stokes. *https://cdn.openai.com/pdf/32d9f210-8b73-45e0-91bc-82a30aef8a9a/navier-stokes.pdf*

[6] OpenAI, On the Navier–Stokes Millennium Prize Problem. *https://openai.com/index/navier-stokes-solution/*

[7] Bastounis, Circelli e Hansen, Navier–Stokes lost in translation. *https://arxiv.org/abs/2610.08144*

[8] NASA e NPARC Alliance, Wind-US Documentation. *https://www.grc.nasa.gov/WWW/winddocs/*

[9] Lean FRO, Lean Programming Language e Mathlib. *https://lean-lang.org/*

Friuli. Terremoto e ricostruzione. Il contributo dei tecnici, 1976-2026

Nel panorama affollato di pubblicazioni sui terremoti del 1976 e sulla ricostruzione che si sviluppò nelle diverse realtà del territorio regionale, con iniziative ed esiti originali e diversificati in relazione ai diversi ambienti e contesti ambientali, sono rimaste – per così dire – in ombra le testimonianze e le voci dei tecnici professionisti, ingegneri, architetti, geologi, geometri, periti industriali che, da più versanti disciplinari e con diverse funzioni pubbliche, furono impegnati nella rigenerazione del Friuli. Tecnici (e le affermazioni che seguono non siano intese come una difesa d'ufficio per le incertezze che talvolta accompagnarono e seguirono le esperienze di progettazione svolte) che, pur senza una adeguata preparazione sui calcoli strutturali antisismici, senza una diffusa esperienza di indagini geologiche dei terreni, senza una consolidata pratica di pianificazione urbanistica particolareggiata, seppero elaborare studi, soluzioni e proposte innovative per ricomporre un territorio profondamente ferito. Dando un contributo determinante a delineare nuove prospettive di sviluppo economico e sociale. Ed entrando a pieno titolo fra i protagonisti di quello che con felice formulazione venne indicato come "modello Friuli".

A rendere giustizia a questa mancanza contribuisce la pubblicazione *Friuli: terremoto, ricostruzione, il contributo dei tecnici,* 1976, 2026, a cura dell'architetto Giorgio Dri, edita dalla Forum, che raccoglie in 360 pagine le testimonianze di una quarantina di autori, parte professionisti tecnici e parte autorevoli dirigenti e funzionari regionali. Il volume ambisce, innanzitutto, a rendere omaggio a tutti i protagonisti che contribuirono alla ricostruzione del Friuli ma rappresenta anche un'occasione per riflettere su come le esperienze maturate dopo il terremoto del 1976 abbiano contribuito allo sviluppo di nuove procedure, norme e strumenti di prevenzione e sicurezza rispetto alle calamità naturali. Un percorso che, a cinquant'anni di distanza, mantiene vivo quel confronto tra amministratori pubblici, tecnici e comunità locali che rappresentò uno degli elementi caratterizzanti della ricostruzione del Friuli e che ancora oggi costituisce una risorsa fondamentale per affrontare le sfide del territorio.



Immagine di Sant'Emidio, vescovo e martire, patrono contro i terremoti da un'incisione xilografica del XVII secolo

Sulla «Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia», che con il primo numero del 1976 "tenne a battesimo" una rinnovata collaborazione tra gli ordini degli ingegneri, degli architetti e dei geologi del Friuli storico, Udine, Pordenone, Gorizia, vennero pubblicati più di 300 articoli su terremoto e ricostruzione (il numero esatto è 352). Complessivamente le testimonianze rese nei mesi e anni successivi ai terremoti di maggio e di settembre 1976 ebbero la capacità di presentare ai lettori della rivista numerosi percorsi tecnici che perseguivano l'obiettivo primario di rendere più sicuro il patrimonio edilizio e le infrastrutture pubbliche esistenti, ponendo al centro dell'ingegneria civile, della geologia, dell'urbanistica la imprescindibile salvaguardia di persone e cose.

Non pare retorico né esagerato riprendere in considerazione quel ruolo di "cassa di risonanza" delle molteplici attività tecniche che rinnovarono gli assetti urbanistici tradizionali della nostra regione che la rivista svolge da oltre settant'anni: il merito di questa funzione va attribuito all'ingegnere Carlo Gaggia e all'architetto Provino Valle, presidenti – rispettivamente – degli ordini e dei collegi (una organizzazione parallela agli ordini, a carattere volontario) degli Ingegneri e degli Architetti di Udine, che diedero avvio alle pubblicazioni della «Rassegna Tecnica della regione Friuli-Venezia Giulia» con una testata rimasta praticamente inalterata fino ai giorni nostri. Un merito particolare, come ricorda la dedica del libro, va riconosciu-

to al suo storico direttore responsabile, ingegnere Gaetano Cola, che la diresse dal 1954 al 2017. Fra l'altro va pure sottolineato che, se nell'immediato post terremoto altre riviste, anche tecniche, ebbero il merito di dibattere le questioni della ricostruzione, la Rassegna tecnica è stata quella che, prima e dopo lo spartiacque del 1976, unica nel panorama regionale, tenne vivo il confronto tecnico sui temi dell'ingegneria, dell'architettura, dell'urbanistica, della geologia, della protezione ambientale, ecc. Ed è quella che può vantare di aver accompagnato i difficili momenti dell'emergenza post sismica con quelli, altrettanto difficili e impegnativi, della individuazione delle linee tecniche della ricostruzione e del racconto di come la ricostruzione si stesse realizzando.

Il volume si inserisce, come a molti verrà facile riconoscere, nel solco del precedente impegno editoriale *Progetti e opere. Testimonianze di 50 anni. 1953-2002,* curato da Gaetano Cola e Giorgio Dri, del quale riprende lo spirito di approfondimento e documentazione del lavoro tecnico dei professionisti regionali. In questa nuova opera editoriale sono raccolti diversi contributi che testimoniano non soltanto gli aspetti ingegneristici e progettuali della ricostruzione, ma anche il patrimonio umano, civile e culturale che ne è stato il fondamento. Sulle sue pagine il lettore potrà ripercorrere un'esperienza che rappresenta ancora oggi un modello di collaborazione tra istituzioni, professionisti e cittadini.

Nel portare il saluto della amministrazione regionale, il governatore Massimiliano Fedriga sottolinea come furono proprio professionisti e amministratori che, accanto alla competenza, misero in campo determinazione, responsabilità e lungimiranza, elaborando strumenti tecnici nuovi e sperimentando soluzioni capaci di rispondere a una sfida di eccezionale portata. «Tale patrimonio di conoscenze e di esperienze rappresenta una testimonianza significativa di come la ricostruzione non sia stata soltanto un'opera di ripristino, ma un processo in grado di guardare al futuro e di accompagnare la crescita territoriale, sociale ed economica del Friuli Venezia Giulia. A quel risultato contribuirono, insieme al mondo tecnico, la politica, le istituzioni, le comunità territoriali guidate dai sindaci, il volontariato, le forze sociali e tutti coloro che, con ruoli diversi, si misero a disposizione della collettività. Un impegno corale e straordinario che ha dato vita a quello che ancora oggi chiamiamo "modello Friuli". Un modello che, a cinquant'anni di distanza, continua a rappresentare un motivo di orgoglio e un elemento distintivo della nostra identità, riconosciuto ben oltre i confini regionali».

I contenuti del libro

Il libro raccoglie oltre trenta articoli, un paio di inserti specialistici, sei testimonianze di amministratori pubblici che a vario tutolo ebbero un ruolo nella programmazione degli interventi di ricostruzione. Sulle sue pagine si possono rileggere parti di articoli (evidenziati dal colore indaco del carattere) già pubblicati sulla *Rassegna tecnica* che, per chi visse quei momenti ma anche per chi vuole conoscere quelle dinamiche, riportano la mente ai momenti in cui vennero scritti. Ideati e scritti molte volte proprio nella immediatezza delle scosse telluriche, nella incertezza del futuro che si stava prospettando per il territorio danneggiato, nella difficile compito di individuare sviluppi tecnici senza la certezza delle risorse disponibili, dei tempi per la ricostruzione, di quali operatori economici e operativi sarebbero stati disponibili a intervenire.

In definitiva il libro si propone di raccontare una storia di impegno civile e professionale reale, non ricavata – come va di moda in questi tempi – attraverso le scorciatoie della Intelligenza Artificiale o di simili meccanismi, non sempre sufficientemente conosciuta e quindi non adeguatamente valorizzata. Una storia di esperienze che, ad esempio, non vennero applicate nella rigenerazione dei territori colpiti da analoghe calamità, disperdendo così un prezioso patrimonio di professionalità, di saperi, di accorgimenti tecnici e amministrativi che probabilmente avrebbero contribuito ancor più ad affinare le scelte e le iniziative messe in atto in Friuli cinquant'anni fa, che avrebbero mostrato a tutta la nazione come ci si può risollevare dai traumi inferti da terremoti e altri disastri naturali, in tempi certi, coordinando gli interventi e gli operatori amministrativi e tecnici, utilizzando al meglio le risorse messe a disposizione della comunità nazionale.

FEDERAZIONE DEGLI ORDINI DEGLI INGEGNERI DELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA

Presidente: **Stefano Guatti**
Vice Presidente (TS): **Giovanni Basilisco**
Tesoriere (PN): **Silvio De Blasio**
Segretario (UD): **Giuseppe Monfreda**
Consigliere (PN): **Erica Blasizza**
Consigliere (UD): **Giovanni Piccin**
Consiglieri (GO) **Gianpaolo Cocco**, **Alberto Pich**, **Eleuterio Proia**
Consiglieri (TS): **Simonetta Ravanelli**, **Ermanno Simonati**
Consigliere (PN): **Mario Tedeschi**

Commissioni (in corso di nomina)

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI GORIZIA

Presidente: **Alberto Pich**
Segretario: **Eros Allone**
Tesoriere: **Renato Mattiussi**
Consiglieri: **Claudio Bensa, Gianpaolo Cocco, Silvia Furla, Matej Klanjscek, Sara Leonardi, Alberto Maria Landri** (Sez. B)

Commissioni (in corso di nomina)

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PORDENONE

Presidente: **Erica Blasizza**
Vice Presidente: **Fabio Braccini, Sara Stivella**
Segretario: **Gianluca Bubbola**
Tesoriere: **Valentina Mangia**
Consiglieri: **Barbara Cassan, Antonino Colussi, Silvio De Blasio, Silvia Pivetta, Cinzia Sacco, Alex Corazza** (Sez. B)

Commissioni (in corso di nomina)

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TRIESTE

Presidente: **Giovanni Basilisco**
Vice Presidente: **Ermanno Simonati**
Segretario: **Marina Palusa**
Tesoriere: **Edoardo Marega**
Consiglieri: **Anna Furioso, Giulio Ossich, Simonetta Ravanelli, Michele Savron, Guido Walcher, Vincenzo Zanelli, Roberta Roberto** (Sez. B)

Commissioni e relativi Coordinatori e Consiglieri referenti
- Prevenzione incendi: **Davide Angiolini** (Coordinatore), **Edoardo Marega** (Referente Consiglio)
- BIM: **Nicola Tosolini** (Coordinatore), **Ermanno Simonati** (Referente Consiglio)
- Biomedica: **Mauro Tommasini** (Coordinatore), **Roberta Roberto** (Referente Consiglio)
- Energia e Impianti: **Giacomo Del Zotto** (Coordinatore), **Michele Savron** (Referente Consiglio)
- Forense: **Piero Todaro** (Coordinatore), **Giulio Ossich** (Referente Consiglio)
- Giovani: **Pietro Terzon** (Coordinatore), **Roberta Roberto** (Referente Consiglio)
- Industria: **Alberto Simini** (Coordinatrice), **Vincenzo Zanelli** (Referente Consiglio)
- Dell'informazione: **Nicolò Carbi** (Coordinatore), **Guido Walcher** (Referente Consiglio)
- Navale: **Alessio Feltrin** (Coordinatore), **Edoardo Marega** (Referente Consiglio)
- Sicurezza: **Davide Novel** (Coordinatore), **Simonetta Ravanelli** (Referente Consiglio)
- Strutture: **Alfredo della Coletta** (Coordinatore), **Giovanni Basilisco** (Referente Consiglio)
- Urbanistica, edilizia e del paesaggio: **Giovanni Foti** (Coordinatore), **Anna Furioso** (Referente Consiglio)

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI UDINE

Presidente: **Giovanni Piccin**
Vice Presidenti: **Genziana Buffon**, **Elena Moro**
Segretario: **Giacomo Borta**
Tesoriere: **Giuseppe Monfreda**
Consiglieri: **Raniero Battista Brosolo, Valentina Cabbai, Silvia De Cecco, Luigi Lorusso, Alberto Miotti, Piero Palumbo, Silvia Rivilli, Cristiano Rosselli Della Rovere, Alex Tuan, Marco Bottega** (Sez. B)

Commissioni Consiliari
- Deontologia e tutela della professione: **Cristiano Rosselli Della Rovere, Giovanni Piccin, Valentina Cabbai**
- Comunicazione: **Giacomo Borta, Silvia De Cecco, Elena Moro, Alex Tuan**
- Formazione: **Genziana Buffon, Luigi Lorusso, Giuseppe Monfreda, Silvia Rivilli**

Commissioni e relativi Coordinatori e Consiglieri referenti
- Ambiente e Territorio ed economia circolare: **Michela Diracca** (Coordinatrice), **Silvia Rivilli** (Referente Consiglio), **Giacomo Borta, Valentina Cabbai, Massimo Cisilino, Nicola De Bortoli, Raffaele Feruglio, Anna Frangipane, Gabriele Indovina, Cristina Modolo, Pietro Felice Petrucco, Filippo Piccin, Moira Picotti, Andrea Sinigaglia, Carlo Tirelli**
- Antincendio/CVLPS: **Massimiliano Berlasso** (Coordinatore), **Genziana Buffon** (Referente Consiglio), **Enrico Barbina, Roberto Barro, Gianluca Bortolan, Cristian Demarchi, Biagio Cosentino, Christian Garbino, Luigi Lorusso, Alessandro Mariotti, Andrea Muraro, Luca Pascon, Fabio Zorzini**
- Commissione BIM: **Carlo Conti** (Coordinatore), **Silvia De Cecco** (Referente Consiglio)
- Ingegneri Sez. B: **Marco Bottega** (Referente Consiglio)
- Energia e Impianti: **Roberto Lago** (Coordinatore), **Marco Bottega** (Referente Consiglio), **Enrico Bigotti, Melchiorre Casisi, Federico Collaone, Barbara Feruglio, Michele Libralato, Paolo Lisetto, Scheila Marcuzzi, Onorio Saro, Paolo Zuccolo**
- Forense: **Filippo Ciroi** (Coordinatore), **Giuseppe Monfreda** (Referente Consiglio), **Raniero Battista Brosolo, Francesco Burba, Iuri Collinassi, Domenico Di Raimondo, Sonia Giordano, Stefano Guatti, Antonio Montineri, Giuseppe Monfreda, Luca Pantanali, Franco Paravano, Giovanni Piccin, Maurizio Tonutti**
- Geotecnica e idraulica: **Paolo Spadetto** (Coordinatore), **Giacomo Borta** (Referente Consiglio), **Alberto Bolla, Eleonora Borghesan, Alessandro Coccolo, Matteo Colautti, Massimo Colosimo, Dario Fedrigo, Raffaele Feruglio, Christian Gelagi, Giovanni Nigris, Giovanni Puntel, Egon Sebastian Schuhmann, Diego Valusso, Andrea Zanini, Andrea Ziraldo**
- Giovani: **Giovanni Caproni** (Coordinatore), **Alex Tuan** (Referente Consiglio), **Alberto Basso, Andrea Bernardi, Eleonora Borghesan, Chiara Calligaro, Cristian Cignino, Giovanni Colutta, Christian Demarchi, Matteo Fontanot, Michele Libralato, Lucas Mazzon, Chiara Nadaia, Bruno Nanino, Luca Pascon, Elisabetta Paviotti, Marco Pizzamiglio, Alessandra Sabot, Nicola Solari**
- Industria: **Lucia Borgobello** (Coordinatrice), **Alberto Miotti** (Referente Consiglio), **Giuseppe Bortoluzzi, Nicola Cimenti, Alex Tuan**
- Clinica: **Massimo D'Antoni** (Coordinatore), **Elena Moro** (Referente Consiglio)
- Ingegneria dell'informazione: **Nicola Corrubolo** (Coordinatore), **Piero Palumbo** (Referente Consiglio), **Daniele Cescutti, Bruno Nanino, Francesco Parmeggiani, Antonio Piva, Riccardo Scalisi, Sebastiano Suraci, Fabio Valgimigli**
- Lavori Pubblici: **Tommaso Sinisi** (Coordinatore), **Raniero Battista Brosolo** (Referente Consiglio), **Federico Buzzolo, Eleonora Borghesan, Andrea Cocetta, Marcello De Marchi, Marta Fragrasso, Giacomo Giorgiutti, Gianpaolo Guaran, Paolo Lena, Paolo Lisetto, Renato Pesamosca, Marco Portelli, Giampaolo Proscia, Giovanni Rainis, Lorenzo Rerecich, Elisabetta Ruzzene**
- Parcelle: **Marco Mitri** (Coordinatore), **Cristiano Roselli Della Rovere** (Referente Consiglio), **Claudio Donada, Mario Cappellari, Paolo Lena, Maurizio De Luca**
- Pari opportunità: **Sonia Geremia** (Coordinatrice), **Valentina Cabbai** (Referente Consiglio)
- Sicurezza: **Massimo Cisilino** (Coordinatore), **Luigi Lorusso** (Referente Consiglio), **Genziana Buffon, Elisa Cataldo, Luca Cesare, Desiree De Antoni, Raffaele Feruglio, Mauro Gandolfo, Lucio Govetto, Valeria Grillo, Daniele Lupieri, Michele Nonino, Claudio Pantanali, Antonio Pez, Antonio Semerari, Ascanio Tarantino, Adriano Tosolini, Fabio Veronese, Valerio Zanella, Tiziana Zanetti**
- Strutture: **Riccardo Zuccolo** (Coordinatore), **Giacomo Borta** (Referente Consiglio), **Gianluca Bortolan, Manuela Buttazzi, Giovanni Colutta, Andrea Craighero, Alessandro D'Agostino, Silvia De Franceschi, Luigi Franzoni, Claudio Genero, Maurizio Liani, Andrea Marcuzzi, Alessio Modolo, Corrado Piccirillo, Ascanio Tarantino, Luigi Terenzani, Raffaele Venir, Enrico Zanello**
- Urbanistica, mobilità/Ingegneria edilizia: **Sonia Giordano** (Coordinatrice), -**Raniero Battista Brosolo** (Referente Consiglio), **Maurizio De Luca, Matteo Colautti, Pietro Felice Petrucco, Marco Portelli**



LA BANCA DELLA TUA CITTÀ

Per dare vita ai tuoi progetti hai bisogno di un partner attento e affidabile. Vieni a trovarci in filiale!

Scegli

BCC **BANCA DI UDINE**

GRUPPO BCC ICCREA

bancadiudine.it