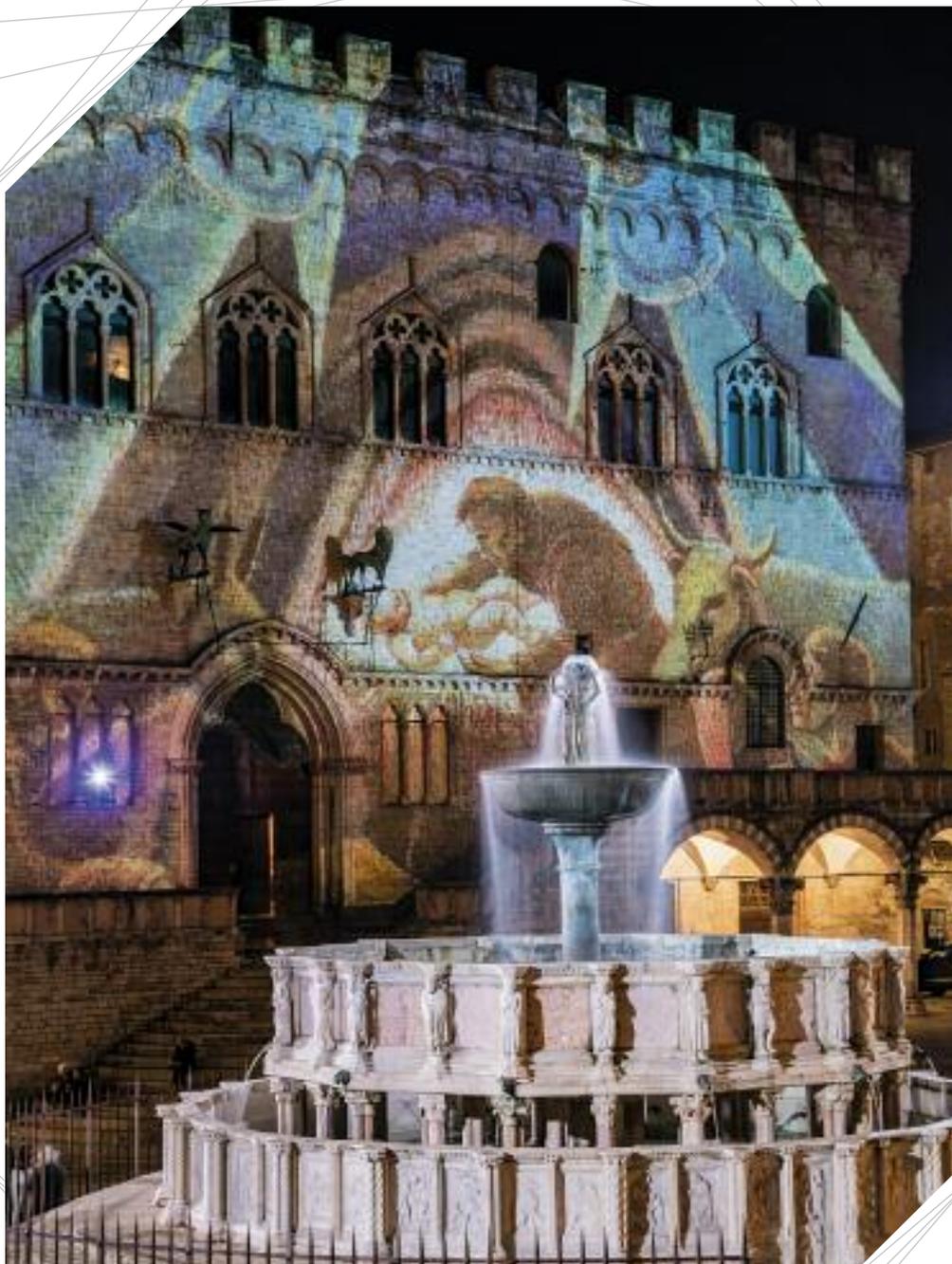


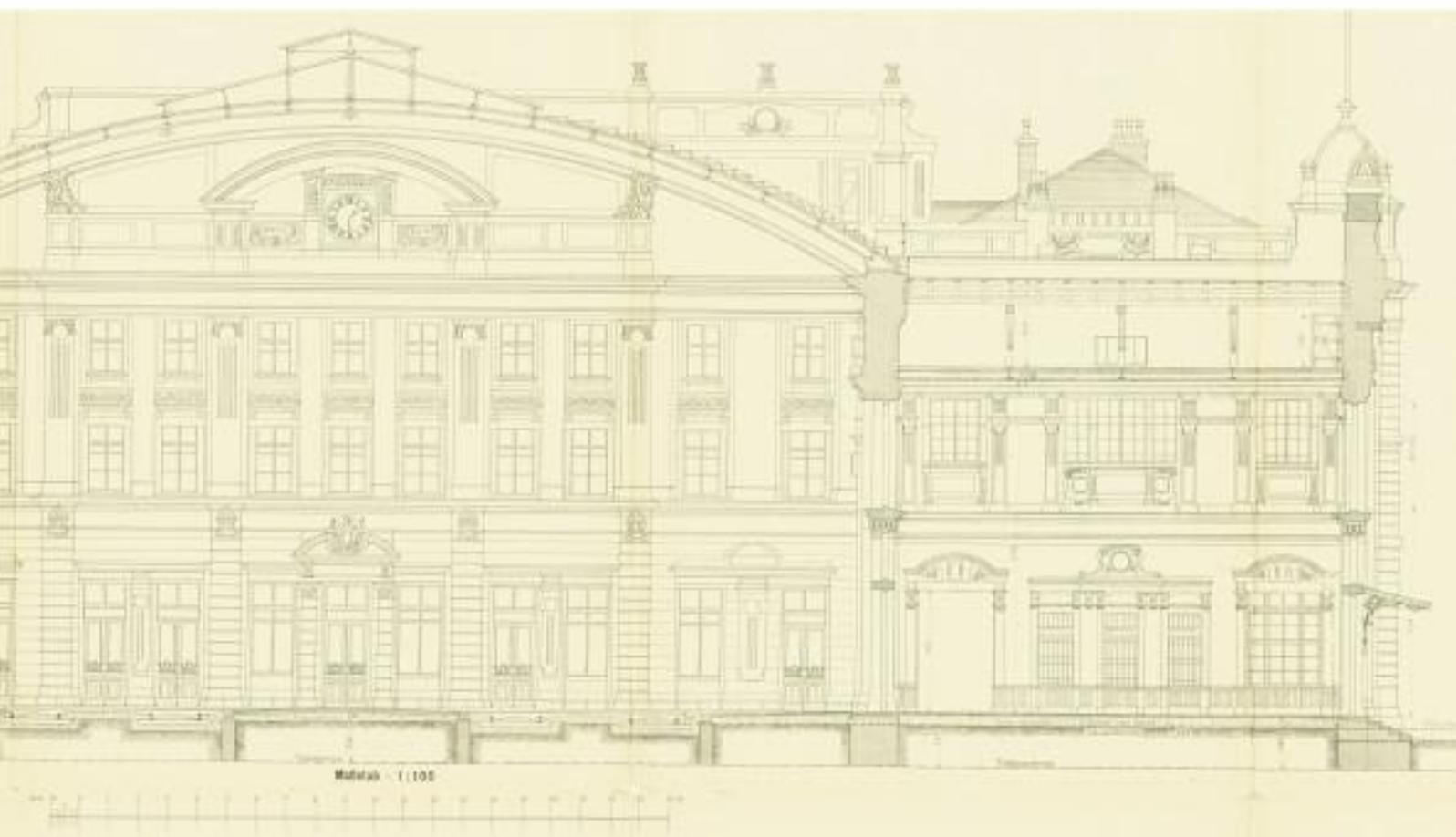
# L'IU

L'INGEGNERE UMBRO



PERIODICO DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA

Unilab Sperimentazione S.r.l. nasce nel 2012 ed è un laboratorio di derivazione universitaria specializzato nella *Diagnostica Strutturale* di opere Monumentali, Edifici Pubblici e Privati, Residenziali e Industriali. Da Luglio 2018 è anche un *Laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti ad eseguire prove su materiali da costruzione ex art. 59 DPR 380/01 e art. 20 L. 1086/71 – Settore A.*



## DIAGNOSTICA

Prove su elementi in cemento armato  
Prove su murature  
Prove di carico su strutture  
Prove su elementi prefabbricati  
Prove su legno e acciaio  
Monitoraggi strutturali statici e dinamici  
Diagnosi sullo sfondellamento dei solai

## LABORATORIO

Calcestruzzi  
Acciai  
Malte e cementi  
Aggregati  
Bitumi  
FRC  
FRP - FRCM - CRM

[www.unilabsperimentazione.pg.it](http://www.unilabsperimentazione.pg.it)

**Unilab Sperimentazione S.r.l.**  
Via Giacomo Leopardi 27, 06073 Corciano (PG)  
Tel e fax 075 6978960

# SOMMARIO



In copertina:

Perugia. Suggestiva immagine natalizia su  
Piazza IV Novembre

(Fotografia: Michele Castellani)

## 4 ANALISI E DECODIFICAZIONE DEL SISMA

Risultati delle ricerche sulla componente verticale e sulle sollecitazioni impulsive sulle strutture generate dal Jerk, derivata prima dell'accelerazione sismica e terza dello spostamento.

Intervista a Massimo Mariani.

**Alessio Lutazi**

## 10 SOLARE FOTOVOLTAICO E IMMAGAZZINAMENTO ENERGETICO

A che punto siamo e dove si sta indirizzando la ricerca.

**Lucia Fagiolari**

## 14 UNA RIFLESSIONE SUL CLIENTE DEL 3°MILLENNIO

Analisi dell'evoluzione di cliente e professionista.

**Sergio Cimino**

## 16 IL METANO. CHE DELUSIONE!

Disamina dell'utilizzo del metano sotto molteplici punti di vista.

**Giovanni Paparelli**

## 19 LO STUDIO DEL RUMORE IN AMBIENTE INDUSTRIALE

Questi materiali sono tornati all'attenzione di molti nell'intento di limitare l'uso dei consumi energetici non rinnovabili

**Andrea Cerniglia**

**L'INGEGNERE UMBRO - n°118 - anno XXIX - Dicembre 2021**

Direttore Responsabile: Giovanni Paparelli

Redattore Capo: Alessio Lutazi

Collaboratori: Francesco Asdrubali, Paolo Belardi, Simone Bori, Michele Castellani, Guido De Angelis, Lamberto Fornari, Pietro Gallina, Antonello Giovannelli, Renato Morbidelli, Massimo Pera, Enrico Maria Pero, Alessandro Rocconi, Carla Saltalippi, Gianluca Spoletini.

Hanno collaborato inoltre a questo numero: Andrea Cerniglia, Sergio Cimino, Lucia Fagiolari

Grafica e impaginazione: Le Mani di Mary S.r.l. - Perugia

Stampa e Pubblicità: Unione Tipografica Folignate - Foligno

Questo numero è stato stampato in 6000 copie.

La Rivista viene inviata in abbonamento gratuito a chiunque ne fa richiesta. L'Editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richiederne gratuitamente la rettifica o la cancellazione. Le informazioni custodite verranno utilizzate al solo scopo di inviare agli abbonati la Rivista e gli allegati (legge 196/03 - tutela dei dati personali). Tutti i diritti sono riservati. È vietata la riproduzione anche parziale, eseguita con qualsiasi mezzo, di ogni contenuto della Rivista, senza autorizzazione scritta. Sono consentite brevi citazioni con l'obbligo di menzionare la fonte. Testi, foto e disegni inviati non saranno restituiti.

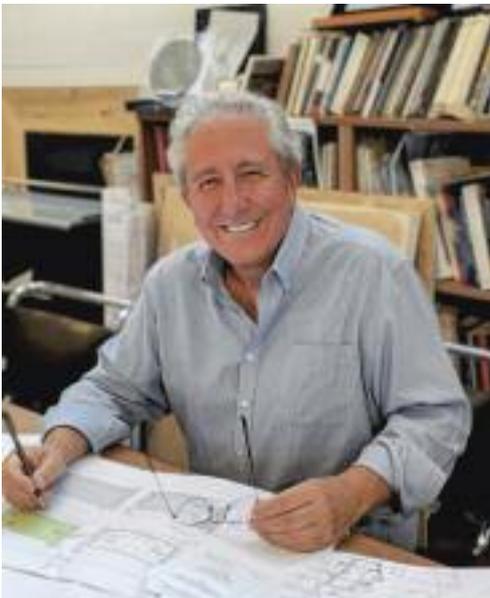
## ANALISI E DECODIFICAZIONE DEL SISMA



di Alessio Lutazi

**Risultati delle ricerche sulla componente verticale e sulle sollecitazioni impulsive sulle strutture generate dal Jerk, derivata prima dell'accelerazione sismica e terza dello spostamento.**

**Intervista a Massimo Mariani**



Massimo Mariani

Negli ultimi 30 anni la Rete Sismica Nazionale ha registrato in Italia e nei Paesi confinanti più di 190.000 eventi sismici; la maggior parte non sono stati avvertiti dalla popolazione, mentre 45 sono i terremoti che hanno avuto una magnitudo Richter pari o superiore a 5.0.

Si tratta di numeri significativi che rendono necessarie riflessioni sull'interpretazione dei terremoti, sulla loro "decodificazione" e sull'importanza della progettazione. Ne parliamo con l'Ingegnere **Massimo Mariani**, già componente del C.D. della Scuola Superiore e Centro Europeo di Formazione per l'Ingegneria e componente del C.D. del Centro Studi del Consiglio Nazionale Ingegneri (delegato alla cultura, referente per la geotecnica, il rischio idrogeologico, sismico, per il consolidamento - restauro degli edifici e la divulgazione scientifica). Fino all'anno scorso Presidente dell'E.C.C.E. - Consiglio Europeo degli Ingegneri Civili è componente del Comitato Tecnico-Scientifico per il Sisma in Italia Centrale. È tra i massimi esperti del settore in Italia e all'estero in materia di consolidamento e restauro di edifici.

Massimo Mariani lo abbiamo nella storia ordinistica degli Ingegneri di Perugia quale nostro Presidente per sedici anni. Ora è Presidente del Centro Studi Sisto Mastrodicasa.

**Ingegnere Mariani, di fronte alle cifre relative agli eventi sismici, ritiene che il fenomeno dei terremoti sia sufficientemente considerato dai progettisti?**

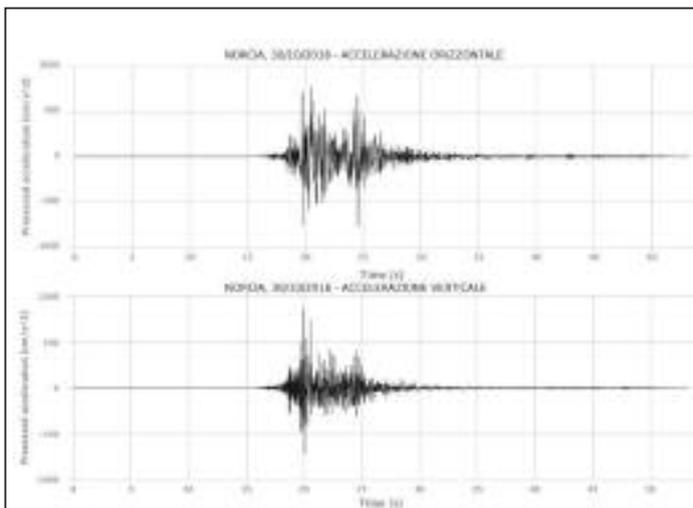
È dal 1979, con il terremoto in Valnerina, che seguì il panorama sismico nazionale, già sulla scorta del disastro del 1976 in Friuli, quando ero ancora studente. Lo studio e l'attenzione verso i fenomeni sismici sono proseguiti con i terremoti in Irpinia nel 1980, in Umbria-Marche nel 1997, a L'Aquila nel 2009, in Emilia nel 2012 ed ancora in Umbria-Italia Centrale nel 2016. Percorrere queste tappe ha fatto nascere in me dubbi sull'interpretazione comune del sisma. Il dubbio è salutare mentre la certezza è da accogliere con cautela. Il dubbio non è uguale all'incertezza; l'incertezza è titubanza mentre il dubbio è pausa di riflessione ed è prezioso perché serve ad elaborare e soffermarsi su particolarità alle quali non si avrebbe mai dato la giusta importanza.

Dovremmo cercare di diffidare di chi non ha dubbi, di chi propone tecnologie risolutive per ogni necessità. Nel mio ultimo libro, nella prefazione, ho proprio fatto riferimento ai così detti "guaritori" che, dopo un evento calamitoso (come nelle pandemie), propongono le soluzioni definitive per risolvere in maniera determinata ogni problema, per prevenire il futuro evento. A proposito di dubbi, vari anni fa ho cominciato a percepire che qualcosa non stava funzionando nell'ambito della decodificazione del sisma e, quella che all'inizio era solo una sensazione, è divenuta in me quasi prepotente certezza di persistere nell'impossibilità di determinare un fenomeno così distruttivo proprio perché complesso.

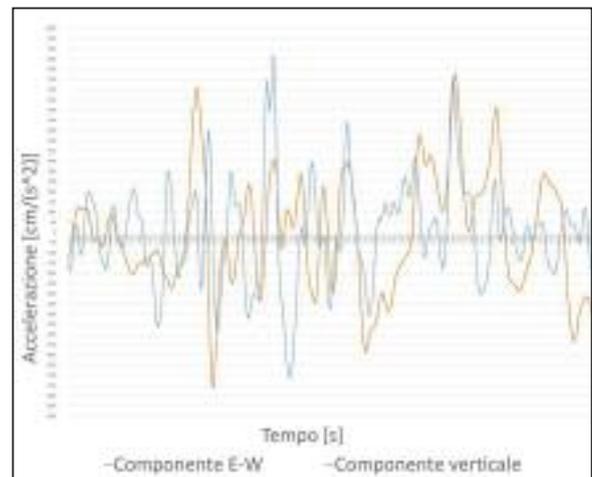
Noi decodifichiamo il sisma da sempre con la Fisica Newtoniana, Classica, in maniera elementare perché schematizziamo i sistemi strutturali con metodi fisico-matematici che funzionano mediocrementemente nelle progettazioni delle nuove strutture, in particolare intelaiate, e sono poco o per niente adatti per le strutture murarie esistenti nella fase di recupero o di rafforzamento. Da tempo cerco di studiare sistemi di lettura diversi, lontani dal determinismo imperante, che tendano ad una codificazione basata su osservazioni scrupolose ed effettive degli edifici, delle tracce che i sismi lasciano sulle strutture murarie. Il terremoto distrugge le abitazioni quando le strutture si disgregano; dal mio studio scaturisce il concetto di "disgregazione muraria", un concetto finora evitato dalla scienza tradizionale che non ha mai accolto il concetto di caos; perché il terremoto è l'espressione palese del Caos: è imprevedibilità reale le cui rappresentazioni sono frattali rispondenti solo ad una Geometria non Euclidea. Non si muore a causa del momento flettente, dello sforzo tagliante, dello sforzo normale o degli sforzi combinati, ma a causa della disgregazione muraria. Noi progettisti da sempre esprimiamo le stesse ipotesi sia per il nuovo che per il vecchio edificato. Il patrimonio di edilizia muraria tradizionale del nostro Appennino, che va dalla Sicilia al Friuli o fino all'estremo della Liguria ai confini della Francia non rispetta le regole del nuovo ma segue le regole del caos che giustificano la disgregazione muraria. Non si muore quindi perché due pareti si allontanano tra di loro causando il crollo del tetto o del solaio, ma perché il cedimento è pressoché verticale; con la disgregazione gli elementi murari collasano in una conoide che invade sia il sito dell'immobile che l'esterno. Le strutture murarie sottoposte al sisma subiscono "processi dissipativi" di carattere deformativo-plastico, nell'irreversibilità. Per tutti i terremoti (anche testimoniati dalle foto che mostro da tempo durante le mie lezioni, che risalgono al 1859-terremoto di Norcia, a quello di Messina, alla Marsica, al Friuli, al Belice, all'Irpinia) si ripetono gli stessi meccanismi di commozione e collasso delle strutture.

***Il terremoto è caos e le strutture murarie sono chiamate a rispondere a fenomeni imprevedibili e complessi. Che cosa possiamo apprendere dalla lettura dei principali sismi?***

Il confronto tra numerosi eventi distruttivi ha evidenziato che le murature sono state sempre disgregate, sono "franate" su se stesse invadendo tanto i propri sedimi originari, che gli ambiti esterni. I paesi distrutti non mostrano più le proprie caratteristiche urbanistiche, i loro tracciati viari originari: le macerie sono sparse ovunque, invadendo tutto. A terra sono presenti solo elementi unitari lapidei o laterizi e le malte polverizzate; non sono riscontrabili parti di muratura intere. Alla luce di ciò la progettazione dovrebbe essere cauta verso indirizzi prevalenti basati su eccessive schematizzazioni, attingendo invece dalle peculiarità dottrinali storiche e attuali della nostra professione e dalla nostra scienza, tutte fondate sull'esperienza divulgata...su empirismo e scienza all'unisono, nessuna di loro subalterna all'altra. Mi spiego meglio: un accelerogramma di un evento sismico è l'espressione dell'energia sviluppata e trasmessa, ma anche la manifestazione



*Fig. 1 - Accelerogramma orizzontale e verticale del terremoto di Norcia del 30 ottobre 2016 di magnitudo 6.5MMS*



*Fig. 2 - Dilatazione dell'ascissa Tempo per una frazione di 1,5 s degli Accelerogrammi sovrapposti della figura precedente (si noti la complessità del fenomeno palesata dai cambiamenti anche minimi di verso dell'accelerazione contenuti in ogni singola sua variazione)*

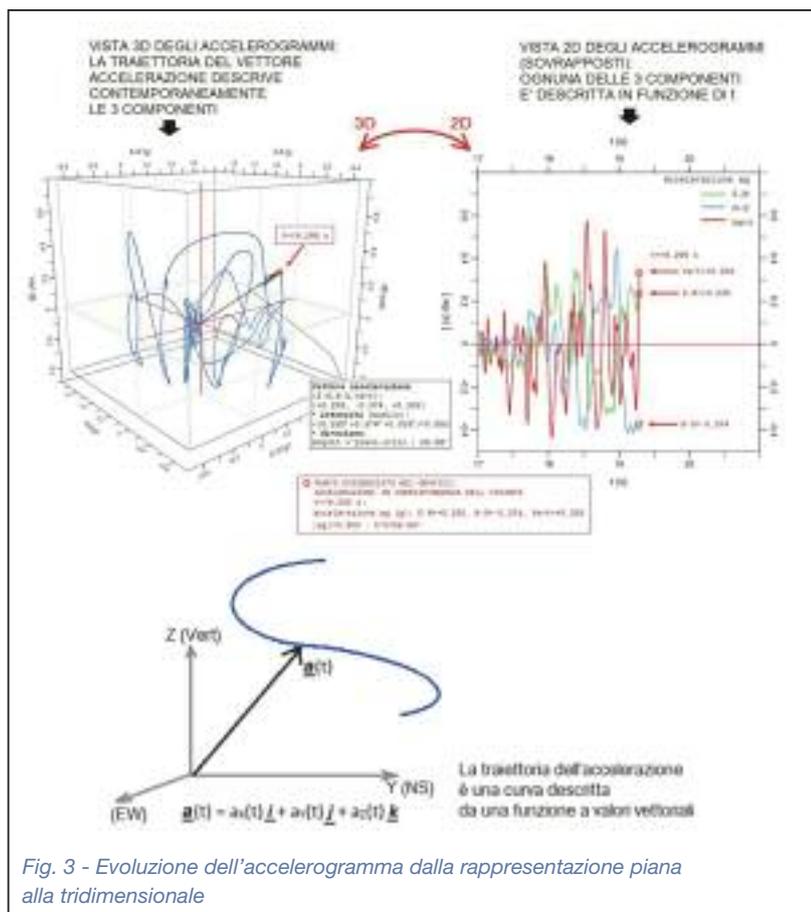


Fig. 3 - Evoluzione dell'accelerogramma dalla rappresentazione piana alla tridimensionale

creano sulle strutture effetti irreversibili, generando una “memoria del danno” subito, “effetti di fatica”, “di isteresi”, quindi ereditarietà per le quali ciò che avviene può non dipendere dall’espressione fisica del momento in cui si esplicita il fenomeno, ma da quella che esso ha assunto in eventi precedenti.

Per tutto ciò, sembrerebbe difficile poter adattare a dinamismi e plasticità irreversibili di questo genere concetti che sono l’espressione di una disciplina che fonda i presupposti su elementi strutturali omogeneamente definiti. Le immagini dal drone, nell’immediato post sismico di Castelluccio di Norcia, Amatrice, Pescara del Tronto, Arquata del Tronto mostrano disfacimenti totali. Quando ho affrontato questi concetti nell’ambito del Comitato Tecnico Scientifico del commissario Errani, ho trovato attenzione solo in Franco Braga; gli altri componenti non hanno mai mostrato interesse poiché le mie riflessioni uscivano dal loro ambito di decodificazione fisico-matematica.



Fig.4 - Effetti del sisma del 24 agosto 2016 ad Amatrice (fonte: www.reluis.it)

di scuotimenti, “impulsi”, impressi dal sisma alle strutture. Osservare i “graffi” di un accelerogramma, in scala reale porta ad una visione d’insieme dell’evento che non mostra la sua intima natura; invece dilatando l’ascissa del tempo dell’accelerogramma (vedi figura), come ho fatto con il mio Gruppo di Ricerca per tutti i sismi registrati, dal Friuli (1976) a quello di Amatrice (2016), ci si rende conto di essere di fronte a un’espressione “frattale” di una turbolenza alimentata da moti indipendenti che si sovrappongono nello spazio, non solo sul piano orizzontale. Il terremoto ha tre dimensioni: finora ne sono state considerate sempre solo due, ignorando la componente verticale.

Dopo gli studi sul ruolo e l’importanza di quest’ultima nel riguardo delle strutture durante lo scorrimento sismico, iniziati dal sottoscritto e continuati insieme a Francesco Pugi, ora le progettazioni contemplano anche la sollecitazione verticale e i Geni Civili ne richiedono le relative verifiche. Inoltre le strutture murarie, una volta scosse dal sisma, subiscono processi caotico-dissipativi di carattere sempre deformativo-plastico.

Gli scuotimenti e le deformazioni plastiche

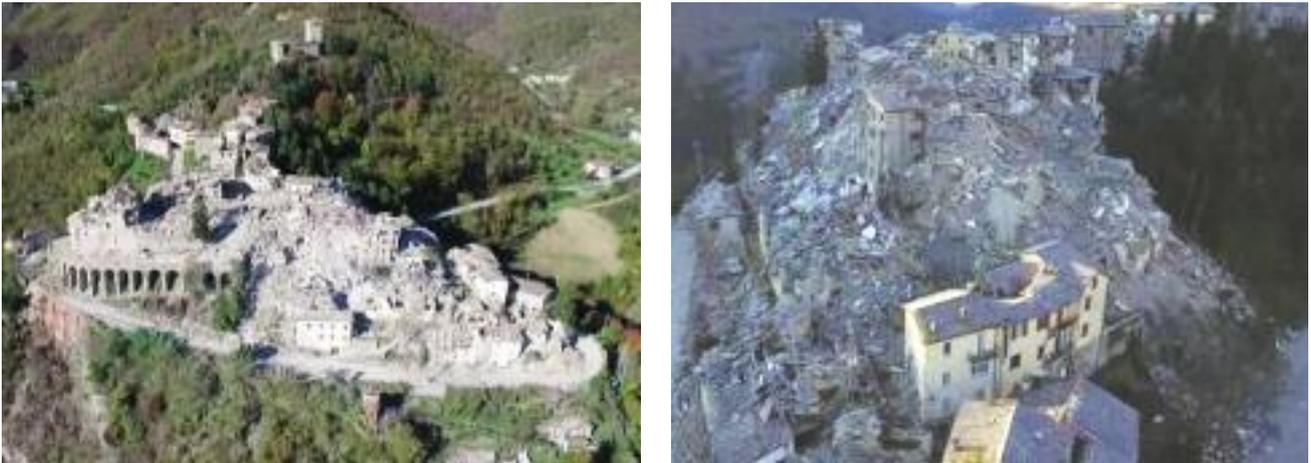


Fig. 5 - Effetti del sisma del 24 agosto 2016 ad Arquata del Tronto

**Altro studio pubblicato sempre a livello internazionale riguarda ciò che avviene nella variazione dell'accelerazione sismica. Qual è l'importanza di questo fenomeno?**

Un'altra intuizione pubblicata anche in ambito internazionale a firma Mariani Pugi che fece scandalo, ma che ora, con soddisfazione si sta facendo largo nel nostro campo dottrinale, tratta del Jerk ("scorrimento", "impulso"), derivata prima dell'accelerazione sismica e terza dello spostamento, che è la generatrice fondamentale delle azioni impulsive corrispondenti al contenuto in alta frequenza del moto sismico. Eppure anche il Jerk, è ancora scarsamente considerato nell'Ingegneria Sismica, mentre risulta ben conosciuto nella meccanica: ad esempio nel cambio di passo di un albero motore, nell'idraulica riferendosi al colpo di ariete, al "colpo di frusta" in un tamponamento di auto.

Il susseguirsi continuo delle variazioni di accelerazione per intensità e per direzione nel corso dell'evento sismico, determina impulsi (martellamento, scrollamento, scuotimento, ecc.) che, nelle strutture in muratura, generano crisi locali delle connessioni, fenomeni disgregativi con riduzione progressiva della duttilità. Il Jerk si accanisce sui vincoli, nel rapporto tra solaio e muratura portante, tra murature di perimetro e murature interne; per questo da tempo si parla di ammorsature perché lì si concentrano masse diverse che vanno a confliggere.

Inoltre il monitoraggio del Jerk sismico triassiale negli edifici in muratura può fornire informazioni sui danni causati dall'evento, più significative di quelle derivate dal monitoraggio dello spostamento orizzontale di interpiano (attualmente solo planare, orizzontale). Tornando alla componente verticale del sisma, è testimoniato dagli accelerogrammi sovrapposti tra di loro, è stata predominante nei sismi in Emilia Romagna e a L'Aquila dove ha raggiunto intensità vicine all'accelerazione di gravità, quindi generando assenza di peso.

Durante il sisma, proprio a causa della componente verticale, gli elementi sobbalzavano tornando indietro per forza di inerzia e causando la disgregazione delle murature durante questo effetto inerziale verticale.

Con Francesco Pugi, autore di conosciuti software specializzati per l'Ingegneria Ci-

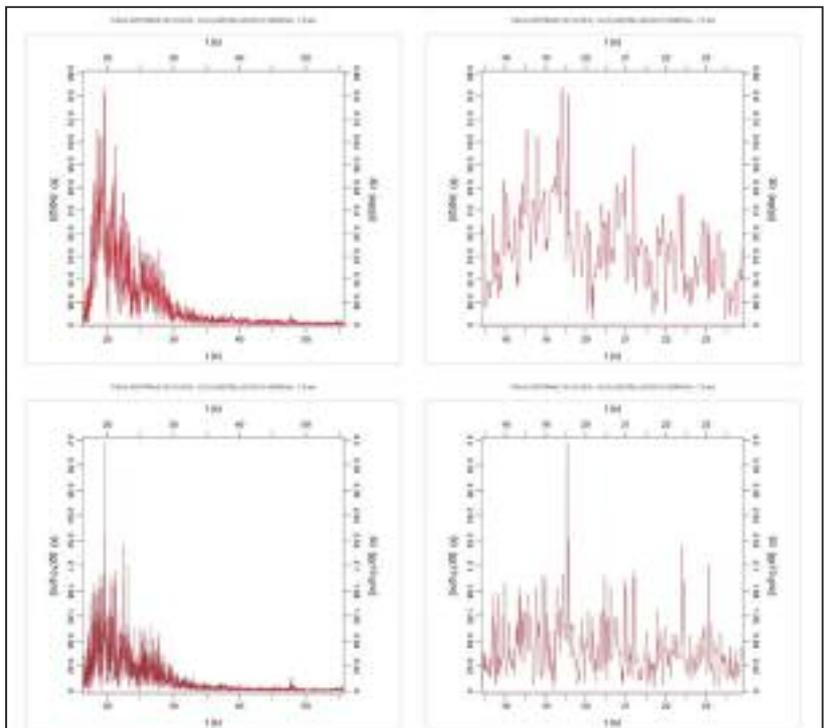


Fig. 6 - Intensità 3D per l'evento di Castelluccio: confronto fra accelerazione (sopra) e jerk (sotto), per gli intervalli di tempo caratterizzati da almeno una componente di accelerazione non inferiore a: 0.010 g a sinistra (da 16.330 a 55.715 s), 0.250 g a destra (da 17.435 a 23.915 s)

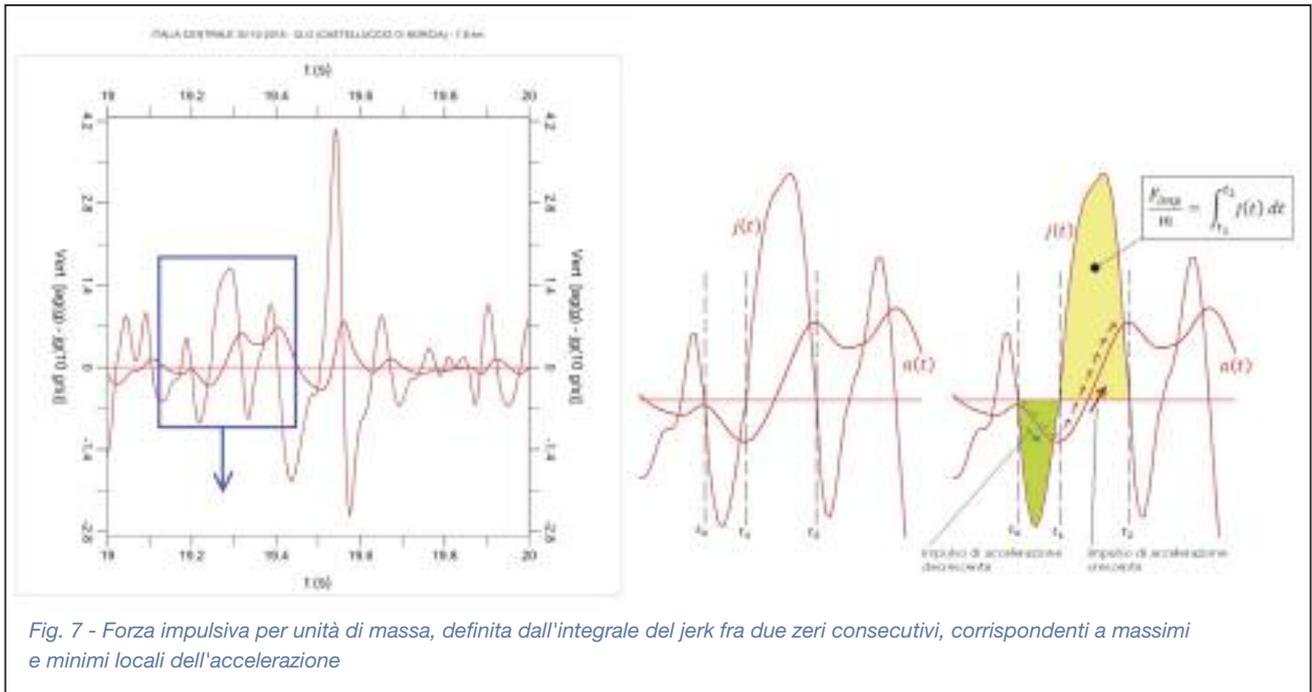


Fig. 7 - Forza impulsiva per unità di massa, definita dall'integrale del jerk fra due zeri consecutivi, corrispondenti a massimi e minimi locali dell'accelerazione

vile, abbiamo generato modelli sulla componente verticale, a giustificare ciò che avveniva con particolare riferimento alla memoria del danno delle strutture. Studi su 147 stazioni e su oltre 400 accelerogrammi, dal 1976 ad oggi, hanno dimostrato che l'accelerazione verticale, non si affievolisce ma rimane importante anche lontano dalla sorgente sismica; ciò cambia il modo di vedere il terremoto.

Questa evidenza muta il procedimento di prevenzione e riparazione partendo dalla necessità di rigenerare le murature. Inizialmente, tutto il mondo accademico si è opposto a queste evidenze ad eccezione di Carlo Doglioni, Presidente dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e Franco Braga Presidente dell'Associazione Nazionale Italiana d'Ingegneria Sismica (ANIDIS). Personalmente ho dovuto presentare giustificazioni anche alla Commissione Nazionale dei Grandi Rischi della Protezione Civile perché, nel frattempo, erano state emanate le NTC 2018 e si pensò che il nostro contributo le mettesse in discussione. Non è così: la considerazione della componente verticale del sisma non si pone assolutamente in contrasto con le NTC, anzi le integra.

**Ha fatto riferimento alle NTC 2018, quali elementi migliorativi ritiene siano stati introdotti dal normatore rispetto all'edizione precedente?**

A mio parere le NTC 2018 hanno un'impronta che, rispetto alle precedenti, è indirizzata all'ottenimento di strutture capaci di fronteggiare alle richieste sismiche.

Questa volta, come dice Franco Braga, alle strutture si richiede la "duttilità" che insieme alla "ridondanza", sono strumenti utili per conseguire la "robustezza" strutturale di qualsiasi costruzione, cosicché ciò che è utile per fronteggiare le azioni sismiche, diventa utile per tutte le "strutture/costruzioni, qualsiasi sia lo stato limite considerato".

Nelle nuove Norme, che sono la prosecuzione delle precedenti NTC 2008, è stata posta una maggiore premura verso l'identificazione dei fenomeni, proprio in considerazione della distruzione avvenuta negli ultimi sismi, in particolare per gli edifici in muratura esistenti, anche se per essi si continua a tenere sempre, per ogni struttura di qualsiasi età, in considerazione l'apporto della duttilità, che invece si perde sisma dopo sisma.

**Un ingegnere è chiamato a creare, innovare e trovare soluzioni ogni giorno. Indipendentemente dal settore di specializzazione deve sempre disporre degli strumenti per gestire ed attuare progetti. Ha un messaggio da rivolgere ai giovani ingegneri?**

Nell'esercizio della nostra Professione è importante vivere la ricerca applicata sul campo. Ciò non significa abbandonare l'aspetto analitico fisico-matematico "di verifica" di cui noi Ingegneri siamo principi.

Come ci ha insegnato il nostro Maestro Sisto Mastrodicasa, bisogna essere prima di tutto padroni delle capacità di analisi per comprendere le patologie degli edifici e la loro costituzione; ciò ci consente di avere una definizione del sistema nella

sua generalità, da cui partire per elaborare il progetto. Il progetto è un atto intellettuale: è la massima espressione della nostra vita di Ingegneri e per tutto ciò non può però ridursi al solo argomento da risolvere per raggiungere un coefficiente normato. La Scuola Umbra di Consolidamento e Restauro è la migliore al mondo. Dobbiamo insegnare ai nostri giovani come riconoscere le patologie murarie quando si presentano dissesti anche non provocati da un sisma. Le lesioni causate da un terremoto sono facilmente identificabili, mentre in un dissesto durante la “quiete sismica” è necessario identificarne velocemente le ragioni e le cause. Spero che la mia ricerca sia migliorata, evoluta e se necessario corretta da chi seguirà queste linee, così come io penso di aver fatto con i miei Maestri, perché questo processo rappresenta l’evoluzione del nostro sapere scientifico. Considero la professione dell’Ingegnere un grande privilegio.

Alla sera (meglio che dica “alla notte”) sospendo le mie “divagazioni” scientifiche con il rammarico di non averle portate a termine, per poi svegliarmi alla mattina felice di ritrovarle e di poter continuare.



Fig. 8 - Effetti del sisma del 24 agosto 2016 a Castelluccio di Norcia

#### **Pubblicazioni sulle recenti ricerche:**

<https://www.ingenio-web.it/27402-jerk-effetti-delle-azioni-sismiche-impulsive-e-crisi-locali-nelle-strutture-in-muratura>

<https://www.ingenio-web.it/26216-dissesti-strutturali-dellelevato---opere-provvisionali-particolari-costruttivi>

<https://www.ingenio-web.it/25129-la-componente-sismica-verticale-e-sempre-da-considerare-perche-rilevante-vicino-e-lontano-dalla-sorgente>

<https://www.ingenio-web.it/23083-sisma-verticale-nelle-ntc-2018-edifici-esistenti-e-comportamento-strutturale-atteso>

<https://www.ingenio-web.it/22872-circolare-ntc2018-sisma-verticale-da-considerare-in-entrambe-le-analisi-non-lineari-statica-e-dinamica>

<https://www.ingenio-web.it/22630-circolare-ntc2018-finalmente-si-dovra-progettare-considerando-il-sisma-verticale>

<https://www.ingenio-web.it/22185-sisma-verticale-modellazione-e-analisi-in-ambito-professionale-sugli-edifici-esistenti-in-muratura>

<https://www.ingenio-web.it/21336-sisma-verticale-amplificazione-della-vulnerabilita-degli-edifici-esistenti-in-muratura>

<https://www.ingenio-web.it/19395-la-memoria-del-danno-del-sisma-incontrero-i-professionisti-nei-luoghi-dei-grandi-terremoti-italiani>

<https://www.ingenio-web.it/18584-terremoto-e-caos-un-nuovo-percorso-di-analisi-del-comportamento-dei-sismi>

<https://www.ingenio-web.it/6322-particolari-costruttivi-di-alcuni-interventi-di-consolidamento-e-rinforzo-di-strutture>

<https://www.ingenio-web.it/4190-particolari-costruttivi-nel-consolidamento-e-restauro>

[https://www.aedes.it/documents/20142/305149/Pugi-Mariani\\_Compdyn\\_2019.pdf/a8b2ed72-9c58-5da2-196a-3fe392db5656](https://www.aedes.it/documents/20142/305149/Pugi-Mariani_Compdyn_2019.pdf/a8b2ed72-9c58-5da2-196a-3fe392db5656)

[https://www.aedes.it/documents/20142/305149/Pugi-Mariani\\_Eurodyn\\_2020.pdf/a7d14c4a-22c1-23bc-62d3-893a5b8f6a06](https://www.aedes.it/documents/20142/305149/Pugi-Mariani_Eurodyn_2020.pdf/a7d14c4a-22c1-23bc-62d3-893a5b8f6a06)

## SOLARE FOTOVOLTAICO E IMMAGAZZINAMENTO ENERGETICO



A che punto siamo  
e dove si sta indirizzando  
la ricerca

di Lucia Fagiolari\*

La comunità scientifica ribadisce da anni l'urgenza di affrontare la crisi climatica e ambientale per evitare un completo collasso climatico e assicurare condizioni vivibili alle presenti e future generazioni. Limitare, fino a eliminare del tutto, le emissioni di gas serra in atmosfera è necessario per rispettare gli accordi di Parigi e limitare il riscaldamento globale a 2 °C (idealmente 1.5 °C). La transizione energetica è quindi una parte fondamentale della transizione ecologica che dovremmo affrontare: il settore energe-

tico nel suo insieme è responsabile del 73.2% di emissioni di gas serra a livello globale [1]. A oggi l'84.3% dell'energia è prodotto da combustibili fossili (nello specifico: petrolio 33.1%, gas naturale 24.2% e carbone 27.0%) [2]. In Italia, circa il 37% dell'energia elettrica è prodotto a partire da fonti rinnovabili [3], ma questo valore scende drasticamente a 16.3% - in linea con la media europea di 16.5% - se si considerano anche i consumi dovuti ai trasporti e al riscaldamento degli edifici [2].

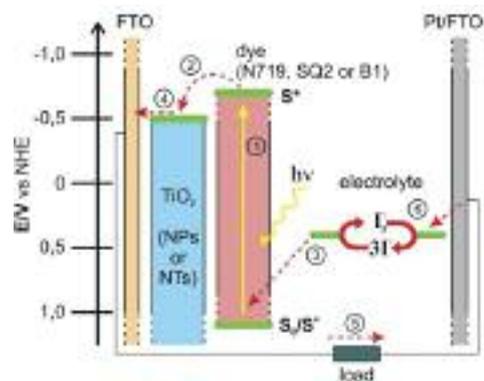


Figura 1: Pannello fotovoltaico costituito da celle al silicio integrato nel tetto di un edificio (in alto) [8].

Schema di funzionamento di una DSSC (in alto, a destra) [9].

DSSC usate in finestra all'École Polytechnique Fédérale (EPLF) di Losanna (in basso, a destra) [10].

La transizione energetica prevede l'abbandono dei fossili a vantaggio delle fonti rinnovabili. Questo permette non solo di risolvere il problema delle emissioni di  $\text{CO}_2$ , ma è anche una mossa strategica dal punto di vista economico, dato che ormai il costo dell'energia prodotta da fonte rinnovabile è minore di quella prodotta da combustibile fossile [4]. Di tutta l'energia rinnovabile prodotta, circa un terzo è costituito dal solare, sia termico che fotovoltaico. Gli altri due terzi sono costituiti da eolico e idroelettrico. Per quanto riguarda il solare fotovoltaico, sia le efficienze che i costi di fabbricazione hanno fatto numerosi passi in avanti negli ultimi decenni. Ad esempio, le tradizionali celle al silicio dei pannelli che si vedono sui tetti degli edifici (Figura 1), hanno raggiunto un'efficienza del 27.6%, mentre nei sistemi *multi-junction*, cioè costituiti da diversi semiconduttori in grado di assorbire uno spettro più ampio di lunghezze d'onda, si è arrivati al 47.1% [5]. Per quanto riguarda il fotovoltaico di terza generazione, fra le categorie emergenti ci sono le celle solari sensibilizzate a colorante (DSSC, dall'inglese *dye-sensitized solar cell*). Le DSSC [6] sono celle trasparenti e potenzialmente colorate; pertanto si prestano bene all'integrazione negli edifici, ad esempio se usate come *smart windows* (Figura 1) e possono essere usate in modo complementare rispetto alla tecnologia tradizionale. Sono le uniche celle fotovoltaiche in grado di convertire in corrente elettrica anche la luce diffusa; di conseguenza sono adatte anche per l'utilizzo indoor oppure quando il tempo meteorologico è nuvoloso. Anche i materiali che vengono impiegati nella manifattura sono a basso costo e più sostenibili [7]. Sono costituite da un fotoanodo, che nella maggior parte dei casi è il biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ), sensibilizzato con un colorante per assorbire la radiazione solare, da un catodo e dall'elettrolita. Il fotoanodo assorbe la radiazione luminosa e genera la cop-

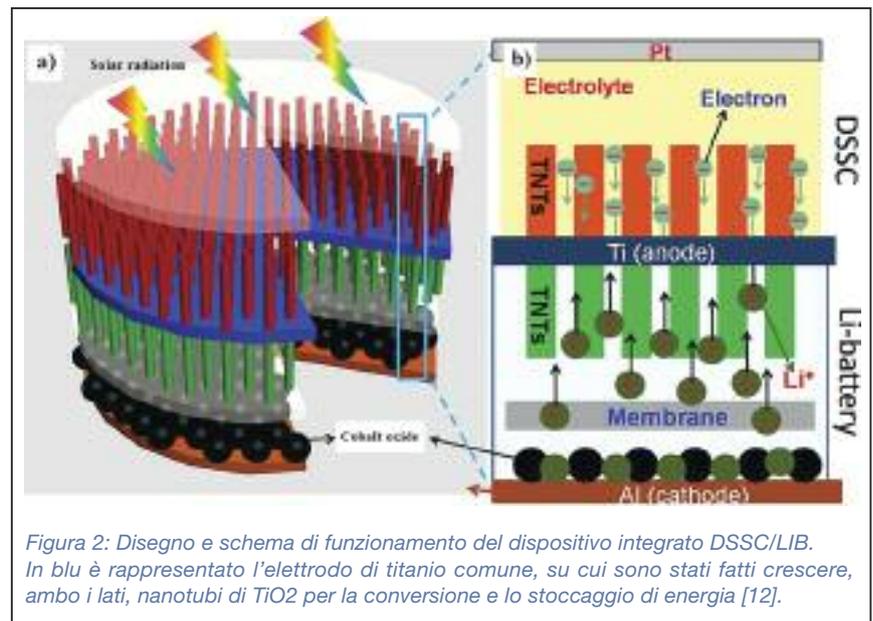


Figura 2: Disegno e schema di funzionamento del dispositivo integrato DSSC/LIB. In blu è rappresentato l'elettrodo di titanio comune, su cui sono stati fatti crescere, ambo i lati, nanotubi di  $\text{TiO}_2$  per la conversione e lo stoccaggio di energia [12].

pia elettrone-buca (Figura 1). L'elettrone fotogenerato percorre il circuito esterno e giunge al catodo, dove viene usato per ridurre la forma ossidata della coppia redox dell'elettrolita. Questa, una volta ridotta, a sua volta riduce lo stato ossidato del fotosensibilizzatore, ripristinandolo nel suo stato fondamentale. Da qui, il ciclo può ripartire. Il limite principale delle fonti rinnovabili è la loro intermittenza giornaliera e stagionale. Per questo motivo, è necessario sviluppare contestualmente sistemi di immagazzinamento dell'energia, per sopperire ai periodi di minimo. Fra le varie possibilità di accumulo energetico, lo storage elettrochimico, in batteria o nei supercapacitori, offre il vantaggio di poter accumulare direttamente la corrente prodotta da un dispositivo fotovoltaico. Sia le batterie che i supercapacitori sono formati da due elettrodi separati da un elettrolita, il quale ha il compito di trasportare e compensare le cariche. Nelle batterie, l'energia elettrica viene convertita in energia chimica e viceversa, attraverso reazioni redox che avvengono agli elettrodi (reazioni faradiche). In un supercapacitore, al contrario, il meccanismo è capacitivo: non avvengono reazioni redox, ma l'energia è stoccata

sottoforma di accumulo di cariche elettriche sulle armature. Dato che non avvengono reazioni chimiche che possono portare alla degradazione degli elettrodi o dell'elettrolita, i supercapacitori hanno una vita più lunga rispetto alle batterie. Inoltre, hanno alta potenza ( $\approx 500\text{-}10000\text{ W/Kg}$ ), ma bassa densità di energia. Al contrario, le batterie hanno alta densità di energia ( $10\text{-}200\text{ Wh/Kg}$ ), ma bassa potenza [11]. Due polemiche vengono spesso sollevate quando si parla di batterie, sui cui mi preme fare una piccola digressione. La prima riguarda l'utilizzo di metalli – soprattutto litio e cobalto – che vengono estratti in aree geopoliticamente instabili, come la Repubblica Democratica del Congo oppure il Sud America, di solito con sfruttamento dei lavoratori, spesso minori. Il secondo riguarda il loro smaltimento a fine vita. Partiamo dal secondo. L'Europa non possiede ancora un ruolo di rilievo nel recupero delle batterie e delle loro componenti. Infatti, soltanto una piccola percentuale viene effettivamente recuperata, mentre la maggior parte finisce ad alimentare il mercato asiatico, sicuramente meno attento alle problematiche ambientali. Questo comporta una grossa perdita economica, dovuta sia ai costi di

smaltimento, sia all'acquisto di nuovo materiale vergine per le future fabbricazioni. È ovvio che si tratta di un nostro vecchio retaggio di economia lineare, in cui i prodotti vengono messi in commercio, senza pensare allo smaltimento e al riciclo a fine vita. Per questo motivo, l'Europa prima di tutti deve incentivare la ricerca e lo sviluppo di sistemi di recupero dei metalli dalle batterie (e da tutti gli altri dispositivi elettrici ed elettronici).

Queste infatti contengono metalli già concentrati e pronti per un possibile riutilizzo. Esistono anche delle aree di ricerca in cui vengono studiati sistemi che non prevedono l'uso di terre rare, a vantaggio di metalli abbondanti nella crosta terrestre e materiali ottenuti da scarto, in accordo ai principi dell'economia circolare. Alcuni esempi sono le batterie in cui il litio viene sostituito con metalli più abbondanti come sodio, potassio, zinco o magnesio. Incentivando il recupero e sviluppando nuove tecnologie verrebbe risolto anche il primo problema legato all'approvvigionamento di terre rare: il materiale riciclato diventerebbe meno costoso della materia vergine, andando quindi a depotenziare il mer-

cato estrattivo. Ovviamente, anche spingere per avere regolamentazioni ambientali e lavorative in paesi a medio e basso reddito è auspicabile per avere uno sviluppo sostenibile dal punto di vista ambientale, ma anche sociale. Un dispositivo di accumulo energetico può essere alimentato con energia solare in due modi: attraverso un collegamento elettrico tramite cavi, oppure con dispositivi integrati, in cui i due moduli (fotovoltaico e storage) sono accoppiati insieme.

Nel primo caso vi è un'elevata resistenza offerta dai cavi, che dissipa parte dell'energia accumulata, con conseguente riduzione delle efficienze. Questi sistemi sono pensati per applicazioni fisse e di solito vengono usati con i classici pannelli fotovoltaici al silicio.

Nei dispositivi integrati, invece, lo stoccaggio avviene contestualmente alla conversione energetica. Questi dispositivi, possono essere flessibili, portabili, offrono meno resistenza ed un'efficienza di accumulo più alta. Per contro, possono mostrare perdite dovute alla ricombinazione di cariche all'interno dell'elettrolita e hanno un potenziale di carica del supercapaci-

tore o batteria limitato al potenziale della cella solare. Dal punto di vista industriale, la fabbricazione di questi moduli può risultare più complicata, soprattutto se si usano elettroliti liquidi. Quest'ultimo tipo di integrazione si adatta molto bene al fotovoltaico di ultima generazione, come le DSSC.

Di seguito verranno mostrati due esempi di dispositivi integrati fotovoltaico-batteria e fotovoltaico-supercapacitore.

Nel dispositivo sottostante, un elettrodo comune, costituito da biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) in forma nanotubolare viene usato sia come fotoanodo di una DSSC (lato arancione), che per l'intercalazione del litio nella batteria a ioni litio (LIB, dall'inglese *Lithium-ion Battery*) sottostante (lato verde, Figura 2) [12]. In questa cella elettrochimica, in presenza di luce, la corrente prodotta viene usata per ridurre gli ioni litio. Una volta spenta la luce, il litio della batteria si ossida, restituendo la corrente elettrica che aveva immagazzinato. Complessivamente, l'efficienza della cella solare non è altissima e questo è dovuto alla scarsa trasparenza del contro-elettrodo di platino, da cui arriva l'illuminazione.

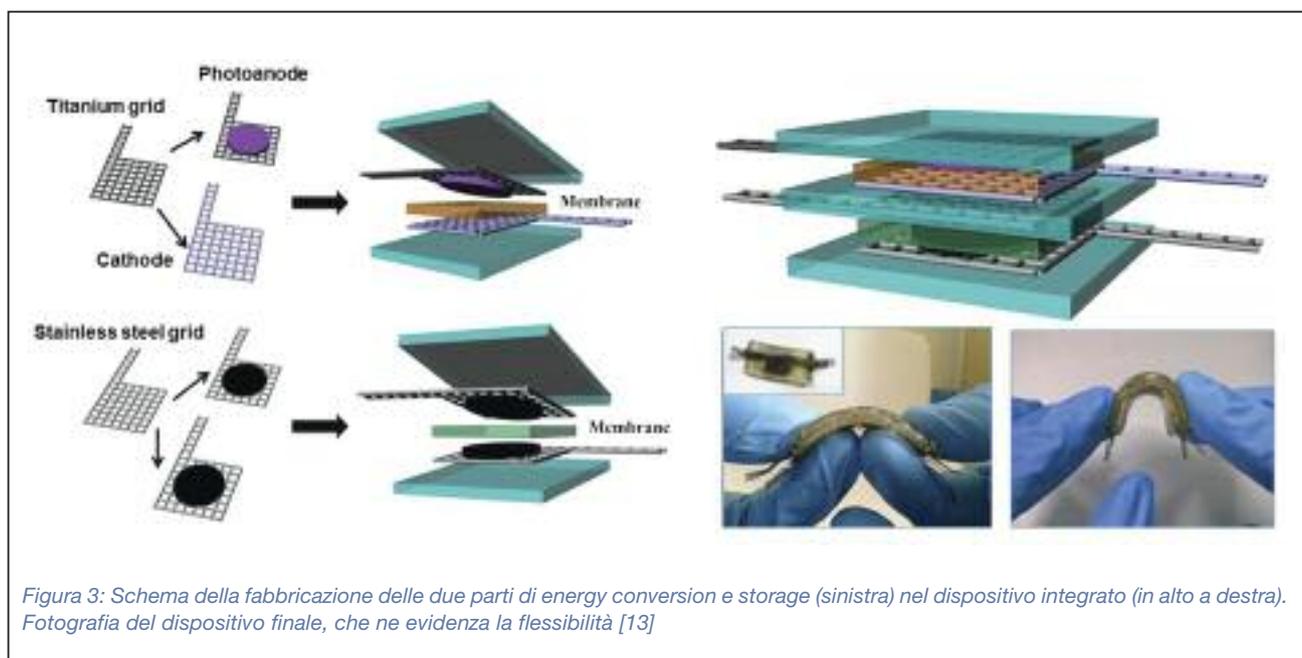


Figura 3: Schema della fabbricazione delle due parti di energy conversion e storage (sinistra) nel dispositivo integrato (in alto a destra). Fotografia del dispositivo finale, che ne evidenzia la flessibilità [13]

Tuttavia, l'efficienza di stoccaggio dell'energia raggiunge il 42%. Le DSSC possono anche essere realizzate su dispositivi leggeri e flessibili, molto adatti all'utilizzo portatile. Nell'esempio riportato in Figura 3 un supercapacitore contenente grafene è stato integrato con una DSSC in un substrato flessibile [13].

Sia nella parte della DSSC che in quella del supercapacitore, come elettroliti sono state usate membrane semisolide a base metacrilato, che aumentano la stabilità chimica e termica e la sicurezza della cella, riducendo l'inflammabilità dell'elettrolita stesso. Inoltre, l'utilizzo di queste

membrane rende più facile la fabbricazione del dispositivo integrato; infatti, su larga scala è difficile il riempimento delle celle con un elettrolita liquido. La massima efficienza di conversione è di 1.4% e viene raggiunta in condizioni di bassa illuminazione (0.3 sun, intensità luminosa che corrisponde ad una giornata nuvolosa con poca luce diretta, ma molta diffusa). Concludendo, abbiamo visto alcuni esempi di sistemi integrati per la produzione e l'immagazzinamento di energia solare.

Questo articolo non ha certo la pretesa di esaurire il vasto panorama delle energie rinnovabili accoppiate a sistemi di storage, sicuramente molto

ampio e stimolante. Per garantire l'uscita dal fossile e da tutti i danni che esso comporta, la ricerca, sia accademica che applicata, deve vertere sempre di più in questo settore, unitamente all'applicazione su larga scala delle tecnologie esaminate. Ovviamente tutto questo non è possibile senza una concreta azione politica, che, in modo lungimirante, sappia dirigere investimenti e finanziamenti nella giusta direzione.

\* PhD - Gruppo di Elettrochimica, Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia - Politecnico di Torino

[1] <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>

[2] <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>

[3] <https://www.tuttoambiente.it/news/energia-impianti-fotovoltaici-gse-fonti-rinnovabili/>

[4] <https://www.rinnovabili.it/energia/fotovoltaico/energie-rinnovabili-non-costi-produzione/>

[5] <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

[6] M. Grätzel, "Dye-sensitized solar cells", *J Photochem. Photobiol. C*, **2003**, 4, 145.

[7] N. Mariotti, M. Bonomo, L. Fagiolari, N. Barbero, C. Gerbaldi, F. Bella, C. Barolo, "Recent advances in eco-friendly and cost-effective materials towards sustainable dye-sensitized solar cells", *Green Chem.* **2020**, 22, 7168-7218.

[8] <https://www.oist.jp/news-center/photos/solar-panels>

[9] <https://www.nature.com/articles/srep30077/figures/1>

[10] <https://energycue.it/fotovoltaico-colori-dalla-svizzera-le-celle-gratzel/8779/>

[11] Kalasina, N. Phattharasupakun, T. Maihom, V. Promarak, T. Sudyoasuk, J. Limtrakul, M. Sawangphruk, "Novel hybrid energy conversion and storage cell with photovoltaic and supercapacitor effects in ionic liquid electrolyte", *Sci. Rep.*, **2018**, 8, 12192.

[12] W. Guo, X. Xue, S. Wang, C. Lin, Z.L. Wang, "An integrated power pack of dye-sensitized solar cell and Li battery based on double-sided TiO<sub>2</sub> nanotube arrays", *Nano Lett.*, **2012**, 12, 2520.

[13] A. Scalia, F. Bella, A. Lamberti, S. Bianco, C. Gerbaldi, E. Tresso, C.F. Pirri, "A flexible and portable powerpack by solid-state supercapacitor and dye-sensitized solar cell integration", *J. Power Sources*, **2017**, 359, 311.

## UNA RIFLESSIONE SUL CLIENTE DEL 3° MILLENNIO



di Sergio Cimino\*

Siamo fin troppo abituati a parlare e scrivere di noi, delle nostre conoscenze, delle nostre competenze, della nostra scienza. Talvolta con una sicurezza che rasenta l'autoreferenzialità, spesso dimenticando di prendere in considerazione il primo destinatario della nostra attività: il cliente.

A nostra discolpa può valere la considerazione che i piani di studio delle facoltà di ingegneria ben difficilmente affrontano l'argomento, dimenticando inspiegabilmente che sono i nostri clienti a quantificare il nostro valore e a determinare il nostro successo.

E se non riusciamo a farci apprezzare o, semplicemente, a far comprendere il nostro livello professionale, non è sicuramente per loro demerito.

Mi viene in mente un'efficace espressione di Gilbert Arland: "Se non riesci a colpire il bersaglio, la colpa non è mai del bersaglio". E, allora, proviamo, a sviluppare almeno una breve riflessione su un tema che richiederebbe ben altro spazio e tempo.

### **Evoluzione del cliente: una metamorfosi, più che un cambiamento.**

Il cliente - nel nostro, come in altri mercati - è sempre più preparato, documentato, consapevole e ha affinato le proprie capacità di selezione e di scelta; è più attento e curioso ed è assolutamente determinato a contare di più nel rapporto con i propri fornitori. Nel nostro, come in altri mercati l'abito del "consumatore" gli sta stretto, preferisce indossare quello del *consum-*

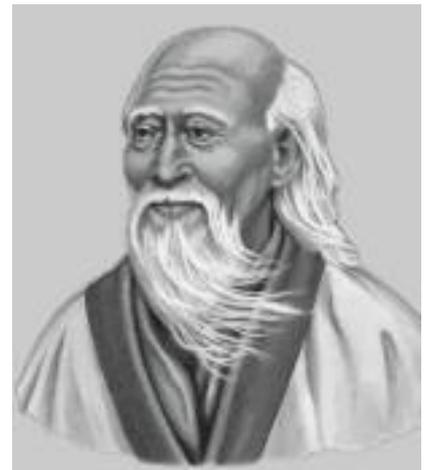
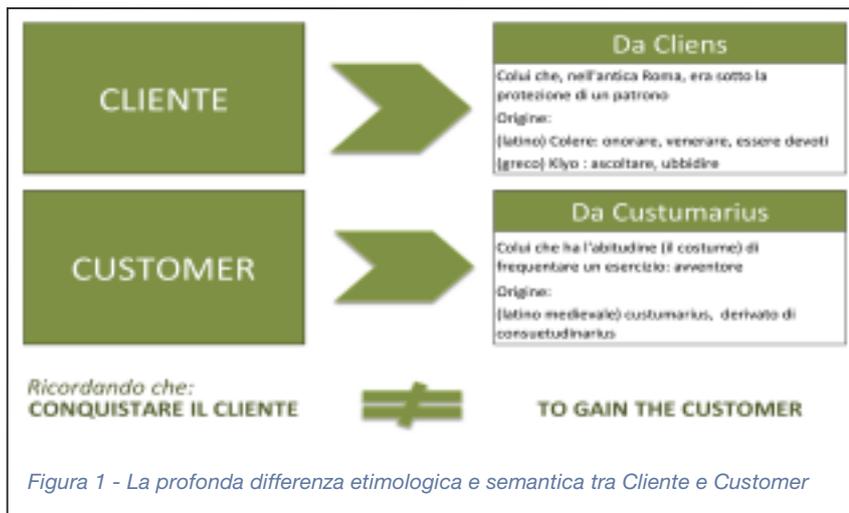
*attore*, neologismo coniato da Giampaolo Fabris, o del "prosumer", termine inventato da Alvin Toffler per sottolineare - con la combinazione: "*producer + consumer*" - il passaggio di stato da un comportamento passivo o reattivo, a un ruolo proattivo e decisionale. Una vera e propria metamorfosi che impone maggiore attenzione, prefigurando infiniti scenari di alleanza con il primo e più importante interlocutore che, per inerzia, continuiamo a chiamare "cliente", come se il termine costituisse l'equivalente dell'inglese "customer".

Mentre, come evidenziato in fig.1, sussiste una profonda differenza etimologica e semantica tra i termini "*cliente*" e "*customer*" e, ancor più, tra le locuzioni "conquistare il cliente" e "*to gain the customer*".

Infatti, colui che determina il successo di un'attività professionale non è più un "cliens" che deve obbedire, attendendosi passivamente a tutte le indicazioni del professionista, ma un "customer", ovvero un interlocutore intelligente che apprezza il professionista al punto tale da aver consolidato l'abitudine (il costume) di interpellarlo per tutte le questioni di sua competenza, e, nel contempo, si sente considerato e apprezzato dal professionista.

Dunque, il nostro cliente, non è qualcuno da "conquistare", ma qualcuno la cui fiducia e la cui stima dobbiamo saper "guadagnare" e alimentare, fino a farlo innamorare di noi. E non basta! Come nelle favole, finché ci sarà

"Se non riesci a colpire  
il bersaglio, la colpa  
non è mai del bersaglio"  
Gilbert Arland



Lao Tzu

amore, andrà tutto per il meglio, ma quando non saremo più capaci di farci amare, il cliente si trasformerà in una bestia spietata che ci abbandonerà, senza alcuna pietà.

Basti pensare che, in base a una recente ricerca Censis, il tasso di infedeltà del cliente, ovvero la sua attitudine al cambiamento di fornitori di servizi e prodotti, è superiore al 60%, raggiungendo, per alcune categorie di acquisto, il 70%!

#### **Evoluzione del professionista: un imperativo categorico più che una scelta.**

L'evoluzione del nostro cliente impone la speculare e coerente evoluzione del professionista intelligente e sensibile che deve imparare a "vivere" il proprio cliente per comprenderne appieno esigenze e aspettative, sapendo che, molto spesso, le seconde sovrastano le prime, con tutte le conseguenze



tecniche ed economiche che tale operazione comporta.

Tutti noi dobbiamo vivere il nostro cliente con la piena, talvolta amara, consapevolezza che per lui la qualità relazionale prevale su quella tecnica: non ha la nostra competenza professionale, ma è sempre più esperto e documentato e quindi è in grado di scegliere tra le alternative che ritiene più convincenti, ovvero tra le proposte che lo hanno maggiormente coinvolto. Dobbiamo vivere il nostro cliente, anche per imparare a non commettere errori relazionali e comunicativi, dato che lui non è più disponibile a compensare pregi e difetti dei servizi (e dei prodotti) che acquista: per lui un difetto pesa quanto dieci pregi e se è soddisfatto da una prestazione ne parla con tre persone, se è insoddisfatto con nove!

A ben pensarci, ognuno di noi si comporta esattamente allo stesso modo quando acquista un servizio i cui processi e la cui catena del valore non conosce affatto.

Per esempio, se usufruiamo dei servizi di un ristorante, o di un albergo, pur non essendo ristoratori o albergatori e pur non sapendo come si organizza una cucina o un hotel (dall'acquisto dei materiali, alla selezione e istruzione del personale, alla logistica dell'hospitality) ci sentiamo in diritto, talvolta in dovere, di formulare valutazioni, criti-

che e giudizi. E più riteniamo di saper scegliere e valutare, più siamo rigorosi e impietosi nel giudicare. E ancora: noi, come il nostro bravo cliente, vogliamo acquistare, non "farci vendere" qualcosa e per noi, come per lui, diventa sempre più difficile acquistare da chi non conosciamo bene, non apprezziamo, non stimiamo.

A questo proposito può essere utile ricordare che la forma più efficace di comunicazione coi nostri clienti è il loro pieno coinvolgimento.

Questa, però, non è una novità del terzo millennio, lo sosteneva anche Lao Tzu (VI sec a.C.) "Parlami e dimenticherò, spiegami e ricorderò, coinvolgimi e comprenderò".

\* Sergio Cimino  
[www.rceconsulting.it](http://www.rceconsulting.it)

"Parlami e dimenticherò,  
spiegami e ricorderò,  
coinvolgimi e comprenderò".  
Lao Tzu

## IL METANO. CHE DELUSIONE!



di Giovanni Paparelli

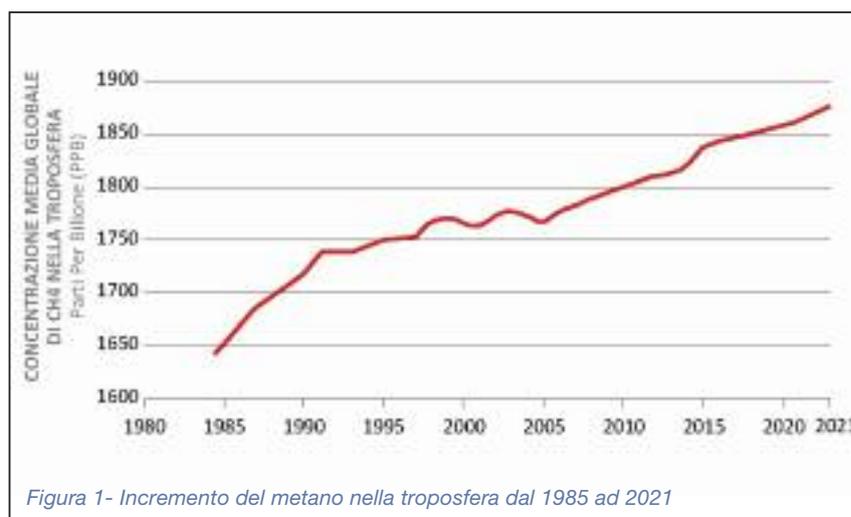
Tutti ricorderanno la calorosa accoglienza che i cittadini tributarono all'arrivo del metano. Tutti sapevano che arrivava un combustibile molto meno inquinante del gasolio e meno costoso. La corsa alla trasformazione delle centrali termiche da gasolio, nafta o cherosene, a metano iniziò con soddisfazione degli utenti.

Le bombole a GPL sotto il lavandino della cucina furono sostituite, ove possibile, con il nuovo gas, più sicuro ed affidabile. Lo slogan allora in vigore era: *"Il metano ti dà una mano"*. Da quasi tre decenni, dal summit di Rio prima a quello di Kyoto poi, abbiamo cominciato a conoscere alcune problematiche connesse col cambiamento climatico, ma tutto questo sembrava ancora talmente lontano da indurre solo ad una moderata preoccupazione.

Negli ultimi anni abbiamo invece appreso come la pioggerella sia diventata un diluvio e peggio verrà se non si interverrà con sollecitudine.

Abbiamo infatti appreso che il metano è diventato il pericolo n.1 per il clima (lo è sempre stato anche se speravamo che ci venisse concesso più tempo per correre ai ripari). Anche gli slogan positivi d'un tempo sono stati aggiornati diventando *"Il metano ti dà una mano a bruciare la terra"*, sottolineando la mutabilità dei tempi e soprattutto delle conoscenze.

La temperatura media della terra, nell'ultimo decennio, è aumentata di 1,1 °C. In realtà il metano è il secondo gas ad effetto serra di origine antropica, dopo il diossido di carbonio CO<sub>2</sub>, ma esso è capace di incidere sul riscaldamento climatico in misura 28 volte maggiore rispetto al CO<sub>2</sub>.



Ha peraltro il vantaggio di avere una vita relativamente corta, pari a 10 anni circa rispetto al CO<sub>2</sub> che invece può persistere nell'atmosfera per molti decenni. Quest'ultima peculiarità fa sì che questo gas sia diventato l'obiettivo principale la cui riduzione sarà tale da essere percepita in tempi ragionevoli, 10 anni appunto, non quelli biblici propri di altri gas. La riduzione delle emissioni di metano richiede dei cambiamenti meno impattanti sulle modalità di vita dell'uomo.

La figura n.1 evidenzia la crescita del metano nella troposfera negli ultimi decenni, espressa in ppb, parti per bilione (miliardo).

Al metano si attribuisce una percentuale di responsabilità sul riscaldamento climatico del 30%. Da dove viene tutto il metano che si riversa nell'atmosfera? Questo gas è prodotto per il 60 % dalle attività umane.

I principali responsabili sono: l'agricoltura, i rifiuti e le energie fossili.

Solo il 18% delle emissioni di metano sono dovute a queste ultime, mentre la percentuale maggiore è espressa dagli allevamenti intensivi di ruminanti cui si attribuiscono emissioni pari al 30% del totale. Ma andiamo con ordine. Le imponenti emissioni di gas metano, che hanno raggiunto la soglia dei 1870 ppb, sono attribuibili per il 40% alle zone umide del pianeta e per il restante 60% all'attività umana.

La componente umana si articola in: allevamenti 30 %, risicoltura: 8%, filiere per la produzione dei prodotti fossili: 22%.

#### **Agricoltura: allevamenti e utilizzo reflui.**

Grandi quantità di metano sono emesse dalle attività agricole e tra questa la più significativa è rappresentata dagli allevamenti di bestiame (emissioni pari al 30 % di quelle prodotte dalle attività antropiche) e la risicoltura. Le soluzioni per contenere le prime si orientano secondo alcuni percorsi. Il primo consiste nel contenere il numero degli animali negli alleva-

menti, ma questa riduzione è contrastata da quegli stati in cui gli allevamenti incidono in modo importante sul loro PIL. Il secondo metodo consiste nell'alimentare il bestiame in modo differenziale riducendo i microbi che in fase di digestione concorrono a produrre il metano nei ruminanti. I semi di lino, ad esempio, aggiunti alla dieta per i ruminanti, limitano la fermentazione e quindi la produzione di metano.

Un'altra soluzione è la modificazione genetica del bestiame per ottenere animali di dimensioni più contenute. Esiste infine un'altra soluzione rappresentata dall'uso più moderato di biostecche di bovini e di prodotti caseari da parte di noi consumatori, ma chissà se e quando sarà presa in considerazione. Oltre alla fase enterica produttrice di metano, anche lo stoccaggio dei reflui in concimaie è causa di emissioni di gas in atmosfera dovuti alla decomposizione anaerobica dei reflui. Un possibile intervento, già abbastanza diffuso anche in Italia, è quello di recuperare il metano per usi energetici. Il gas di recupero dalle concimaie ha la metà del potere calorifico del metano e contribuisce a contenere le emissioni dei prodotti fossili, riducendone il consumo.

#### **Agricoltura: risicoltura.**

Nelle risaie la produzione di metano deriva dall'attività anaerobica dei batteri. Questa condizione è variabile in funzione del tipo di irrigazione.

Con una irrigazione del tipo intermittente o addirittura con terreno secco, in cui il livello dell'acqua staziona a 15 cm al disotto della superficie del terreno, si ottengono riduzioni fino all'80% nella produzione di gas metano.

#### **Industrie fossili.**

Le emissioni di metano nella filiera delle industrie fossili sono dovute semplicemente alle fughe di questo gas. Queste si verificano sia nelle reti di distribuzione, sia nelle vecchie miniere di carbone.

Le soluzioni appaiono relativamente semplici e consistono nell'eliminare le perdite e nel sigillare le miniere in disuso. Sembra che gli interventi più semplici, finalizzati al contenimento delle emissioni del gas metano, possano ridurre, entro il 2031, del 45 % la concentrazione media di questo gas nella troposfera. Questo permetterà di evitare che il riscaldamento della terra superi la soglia del 1,5 °C.

#### **Laghi, produttori di metano.**

Si è detto che le immissioni di metano nell'atmosfera, non attribuibili all'opera dell'uomo, costituiscono il 40% del totale. Le fonti naturali di questo gas sono i laghi, le paludi, gli oceani, le fonti geologiche. Tra queste fonti, particolari attenzioni meritano i laghi i quali primeggiano nelle emissioni di metano causate dalla grande quantità di materie organiche che si degradano

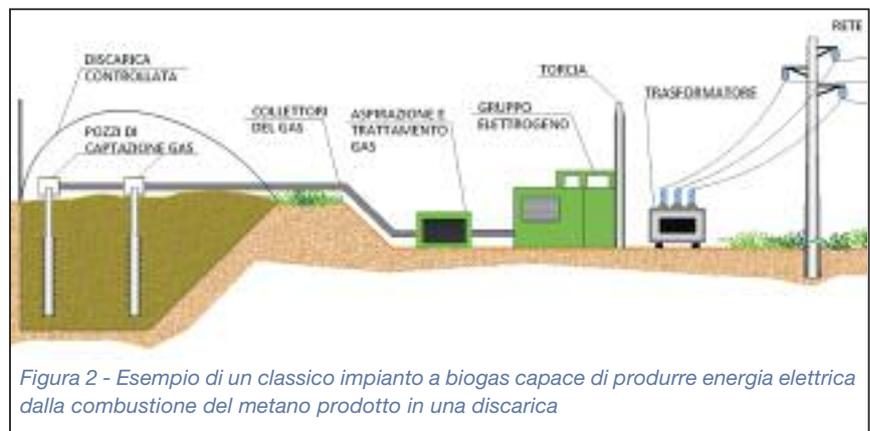


Figura 2 - Esempio di un classico impianto a biogas capace di produrre energia elettrica dalla combustione del metano prodotto in una discarica

sul fondo in modo anaerobico producendo metano. I laghi concorrono ad emettere nell'atmosfera il 50% del metano di origine naturale.

Anche se gran parte di questo gas rimane intrappolato a causa dell'ossidazione microbica, una parte consistente riesce a raggiungere l'atmosfera. Le maggiori emissioni si verificano durante la stagione estiva, nel periodo in cui l'eutrofizzazione manifesta i suoi segni più evidenti dovuti alla maggiore produzione di alghe.

Da queste brevi considerazioni, emerge come sia importante per contenere il riscaldamento climatico, mantenere i nostri laghi in buona salute.

Gli interventi più significativi ed efficaci sono quelli di limitare al contorno l'agricoltura e tutte quelle attività antropiche che concorrono alla loro eutrofizzazione.

#### Scenario inquietante.

Le foreste e gli oceani, che assorbono più del 50% dei gas ad effetto serra, stanno raggiungendo la saturazione e una volta raggiunta, impedirà nuovi assorbimenti di metano e  $\text{CO}_2$  i quali si riverseranno nell'atmosfera, vanifi-

cando gli sforzi messi in atto dall'uomo per il loro contenimento.

La temperatura media della terra in aumento concorre quindi ad immettere nell'atmosfera quei gas serra che normalmente sono assorbiti da foreste ed oceani.

Ciò coerentemente con la legge di Henry (chimico- fisico inglese- 1731 – 1810) in base alla quale i gas diminuiscono la loro solubilità all'aumentare della temperatura. Analoga considerazione vale per il permafrost, ovvero per l'altopiano antartico ghiacciato il quale assottigliandosi per il riscaldamento globale, rilascia tutto il metano che aveva intrappolato.

#### Altri obiettivi.

Il lettore avrà certamente notato come in questo sintetico articolo si sia disquisito esclusivamente di metano. Questo può indurre a chiedersi che fine abbiano fatto tutte le altre iniziative volte al contenimento del consumo energetico negli edifici, nella mobilità e trasporti, nell'utilizzo corretto delle macchine operatrici nell'industria, ecc. Ebbene, tutti questi problemi elencati restano pienamente

validi, in quanto anch'essi sono portatori di gas serra nella troposfera, quali il monossido di carbonio  $\text{CO}$ , il diossido di carbonio  $\text{CO}_2$ , l'ossido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$ , anidride solforosa  $\text{SO}_2$ , gli idrofluorocarburi HFC ecc., ma tutti questi gas, derivanti dalla combustione di combustibili fossili, hanno una ricaduta negativa sul cambiamento climatico più lenta e duratura, tale da consentire di prepararci meglio per il loro contenimento, anche perché, questa volta, gli interventi non saranno completamente indolori, ma avranno bisogno di un periodo di adattamento alle mutate condizioni di vita.

#### Obiettivi minimali del cittadino.

Da quanto sopra esposto, è emerso come il gas metano sia un gas fossile di cui dobbiamo cercare di farne a meno. Il singolo cittadino potrà dare il suo contributo sostituendo, ove possibile, le caldaie a condensazione a gas con la pompa di calore aria-acqua e sostituendo i fuochi a metano con piani cottura a induzione magnetica, più sicuri ed affidabili e soprattutto più coerenti con il contenimento del riscaldamento globale. *Mutatis mutandis.*

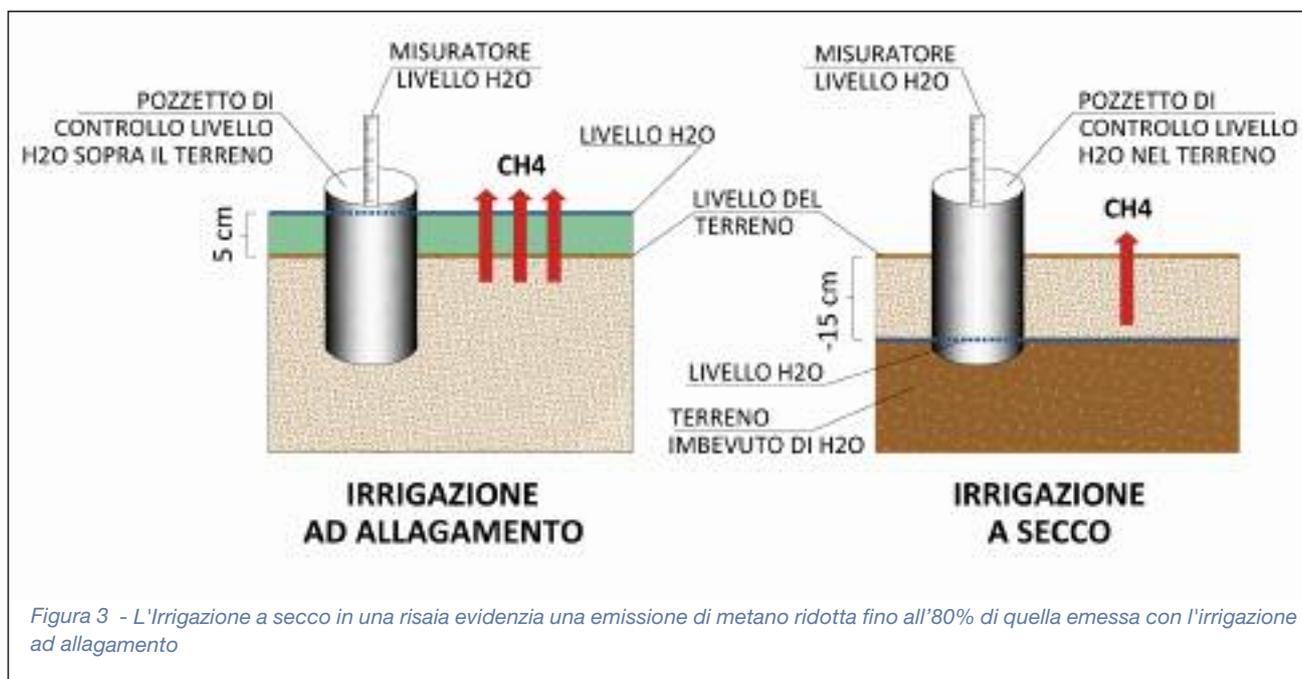


Figura 3 - L'Irrigazione a secco in una risaia evidenzia una emissione di metano ridotta fino all'80% di quella emessa con l'irrigazione ad allagamento

## LO STUDIO DEL RUMORE IN AMBIENTE INDUSTRIALE



### La modellazione acustica come ausilio per la progettazione della mitigazione

di Andrea Cerniglia

L'ordinamento italiano, con la Legge Quadro 447/95, prevede la classificazione del territorio in sei classi acustiche, dalla Classe I per le aree particolarmente protette, alla Classe VI per le aree esclusivamente industriali. Ogni Classe contempla specifici limiti, che devono essere rispettati da tutte le sorgenti sonore indicate nella legge stessa, tra le quali figurano anche le sorgenti industriali. Il Tecnico è quindi spesso chiamato ad eseguire studi mirati alla previsione di impatto acustico di un costruendo impianto produttivo o conseguenti al suo potenziamento, o ancora mirati alla riduzione del rumore emesso da un impianto già esistente.

Per rispondere alle richieste il Tecnico si avvale pertanto di appositi programmi di simulazione della propagazione del rumore nell'ambiente.

Tali programmi necessitano, come dati di ingresso, della cartografia dell'area di studio comprensiva di tutti gli oggetti acusticamente rile-

vanti (schermi naturali o artificiali quali terrapieni, edifici, parti dell'impianto stesso, eccetera), nonché di tutti i dati che caratterizzano le sorgenti sonore presenti (posizione, potenza sonora in banda di ottava, diagramma di direttività).

Nel caso di nuovi impianti risulta purtroppo spesso difficile reperire le informazioni relative alle sorgenti sonore, mentre tutte le altre informazioni sono generalmente reperibili per mezzo delle carte tecniche regionali e dei dati di progetto dell'impianto stesso. In questo articolo si tratta esclusivamente del caso di impianti esistenti, prendendo in considerazione alcuni aspetti relativi alla indagine sulle sorgenti sonore installate, mirati alla riduzione del rumore emesso. Negli impianti industriali complessi, composti da un grande numero di sorgenti sonore, è necessario -prima di ogni cosa- individuare quali siano le fonti principali di rumore, allo scopo di concentrare l'analisi su queste ultime, tralasciando eventuali sorgenti secondarie che non forniscono contributi significativi. Una tecnica particolarmente utile a tale scopo è la tecnica denominata beamforming, grazie alla quale è possibile effettuare "fotografie acustiche" dell'impianto, in modo analogo a quanto si potrebbe realizzare con una termocamera per "visualizzare" il calore. Questa tecnica, divenuta particolarmente popolare e accessibile negli ultimi anni, permette

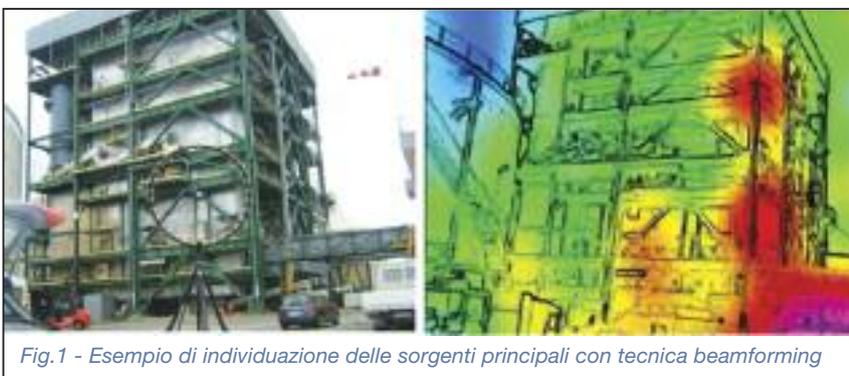


Fig.1 - Esempio di individuazione delle sorgenti principali con tecnica beamforming



Fig. 2 - Esempio di riflessione del rumore su un piazzale presso il quale è posta una torre evaporativa

di ottenere in tempo reale una scansione dell'area inquadrata da una telecamera, mostrando una mappa a falsi colori relativa ai livelli di pressione sonora rilevati dal sistema. È importante sottolineare come la tecnica rilevi sia i suoni diretti sia quelli che pervengono al sistema a seguito di una o più riflessioni; quest'ultimo aspetto, che potrebbe sembrare in prima analisi limitativo, risulta invece essere di grande aiuto al fine di evidenziare superfici acusticamente riflettenti che possono costituire un problema per specifici recettori.

La tecnica beamforming si basa sulla possibilità di sintetizzare un microfono estremamente direttivo per mezzo dei segnali provenienti da uno schieramento di microfoni omnidirezionali; tale microfono sintetizzato può essere orientato - senza alcun movimento fisico - in qualsiasi direzione dello spazio facendo esclusivamente ricorso ad

opportuni calcoli; il sistema fornisce in tempo reale, per interpolazione, una mappa acustica sovrapposta all'immagine catturata dalla telecamera connessa al sistema stesso. In figura 3 è mostrato il principio di funzionamento della tecnica; la prima imma-

gine A) mostra un'onda sonora che giunge perpendicolarmente ad uno schieramento di tre microfoni (per semplicità immaginati allineati su una retta); la somma dei segnali provenienti dai microfoni, divisa per il numero di microfoni impiegati, risulta essere una fedele rappresentazione del segnale originale; la seconda immagine B) mostra il caso in cui l'onda sonora giunge con un angolo diverso da quello perpendicolare allo schieramento (nell'esempio si è ipotizzato un angolo pari a  $45^\circ$ ): in questo caso, a valle del sommatore/divisore, si registrano tre segnali contigui di ampiezza pari a  $1/3$  rispetto al caso precedente (detto in altro modo, il sistema mostra una minore sensibilità per la direzione di  $45^\circ$  rispetto alla direzione perpendicolare); la terza immagine C) mostra come sia possibile, per mezzo di opportuni circuiti ritardatori, riportare in fase i segnali per la direzione di  $45^\circ$  (e

*Beamforming:  
una tecnica d'avanguardia  
per "vedere" il rumore*

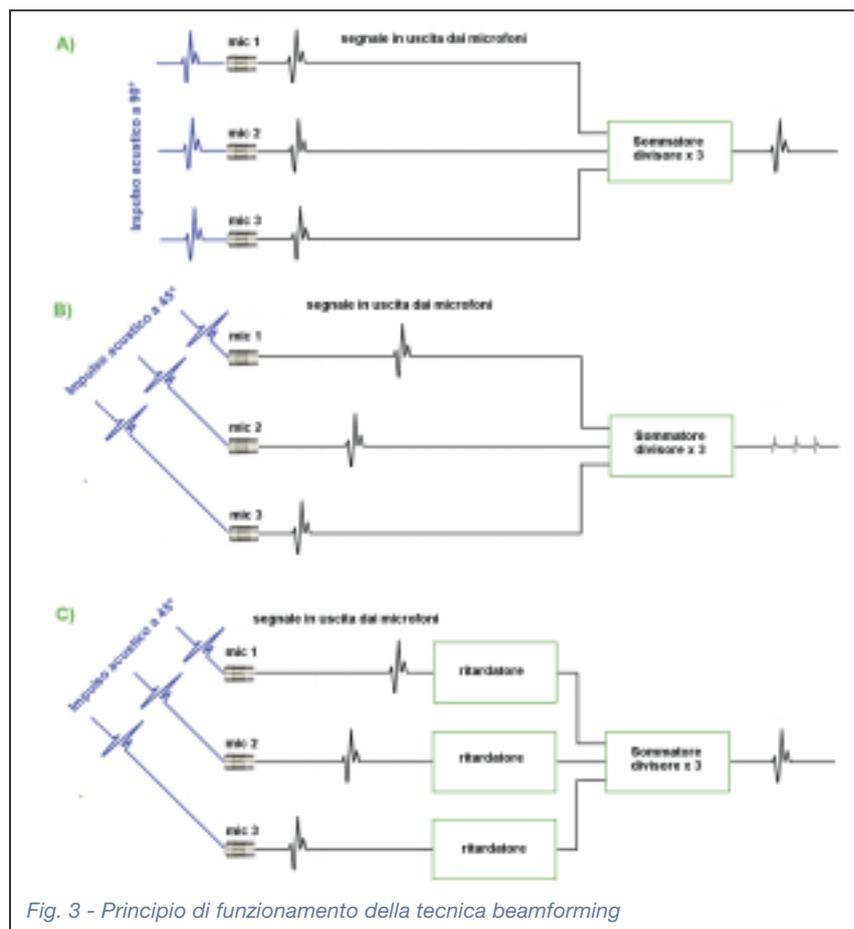


Fig. 3 - Principio di funzionamento della tecnica beamforming

in generale per qualsiasi altra direzione dello spazio). In altri termini, maggiore è il numero di microfoni impiegati nello schieramento, maggiore è la direttività associata al microfono sintetizzato e orientabile per mezzo del calcolo.

I sistemi reali implementano un algoritmo concettualmente analogo a quello qui mostrato, eseguito tuttavia nel dominio della frequenza in luogo del dominio del tempo; tale scelta è dettata dalla maggiore facilità che in questo modo si ottiene nell'esecuzione dei calcoli. I beamformer commerciali impiegano alcune decine di microfoni disposti su un piano oppure nello spazio, ed eseguono in modo automatico tutte le operazioni necessarie per ottenere una mappa acustica in tempo reale con minimo intervento dell'operatore. Nel caso in cui dovesse rendersi necessario indagare fenomeni non stazionari (ad esempio per la presenza di cicli macchina complessi), è possibile ottenere un filmato che mostra la mappa acustica dinamica su un determinato periodo di tempo, ed evidenziare quindi la rumorosità in funzione del ciclo macchina. In aggiunta a quanto sopra, alcuni sistemi consentono di definire un filtro spaziale per potere ascoltare in cuffia il rumore proveniente esclusivamente da una specifica direzione. Le limitazioni principali della tecnica sono legate alla dinamica utile e al campo di frequenza di impiego del sistema. Per quanto riguarda la dinamica è da segnalare come recentemente siano stati implementati algoritmi particolarmente otti-

$$\begin{aligned} \text{Intensità} &= \text{Press} \cdot \text{Velocità} = \frac{\text{Forza}}{\text{Area}} \cdot \frac{\text{Distanza}}{\text{Tempo}} = \frac{\text{Energia}}{\text{Area} \cdot \text{Tempo}} = \frac{\text{Potenza}}{\text{Area}} \\ \text{Intensità} &= \text{Pa} \cdot \text{ms}^{-1} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Fig. 4 - Analisi dimensionale Intensità Sonora

mizzati, i quali consentono dinamiche molto più estese rispetto al passato: ad esempio l'algoritmo "quantitative beamforming" permette di disporre di dinamiche superiori a 30-40 dB. La limitazione relativa al campo di frequenze operative è invece legata alla dimensione dello schieramento microfonico che -in linea generale- deve essere comparabile con la lunghezza d'onda della frequenza più bassa di interesse; in altri termini, con un sistema ampio 100 cm diventa difficile scendere sotto i 340 Hz, mentre per eseguire misure affidabili a 50 Hz risulta necessario disporre di schieramenti nell'ordine di 6 metri. Il potere risolutivo, inteso come la capacità del sistema di 'separare' due sorgenti vicine tra loro, segue le leggi dell'ottica ed è calcolabile con il criterio di Rayleigh. Una volta individuate le sorgenti sonore principali è possibile procedere alla loro caratterizzazione per mezzo di rilievi acustici in campo. Le tecniche che possono essere impiegate sono sostanzialmente di due tipi: la tecnica fonometrica e la tecnica intensimetrica. La tecnica fonometrica prevede il rilievo con il fonometro -in bande di ottava- su ciascuna sorgente precedentemente individuata; tale tecnica è utilizzabile quando le sorgenti sono tra loro 'isolate', ossia quando è possibile

eseguire misure nelle quali sia predominante il rumore emesso dalla sorgente indagata; in questo caso si esegue una scansione su ciascuna superficie di un parallelepipedo virtuale che racchiude la macchina, e da queste si ricava la potenza sonora emessa da ogni faccia analizzata, utilizzando le formule classiche.

Quando invece le macchine sono vicine tra loro è necessario impiegare la tecnica intensimetrica; tale approccio prevede l'impiego di una specifica strumentazione in grado di fornire informazioni acustiche di tipo vettoriale, ossia dotate di direzione e verso; grazie alla tecnica intensimetrica è possibile escludere il rumore proveniente dalle altre macchine presenti, che 'attraversa' il parallelepipedo virtuale all'interno del quale è racchiusa la macchina in prova. Un presupposto per l'esecuzione della misura intensimetrica è la stazionarietà del rumore emesso da tutte le sorgenti interessate dalla misura. Per l'esecuzione dei rilievi vi sono norme specifiche quali quelle del gruppo UNI EN ISO 9614 (parte 1, parte 2 e parte 3).

L'intensimetria acustica si basa sulla misurazione della pressione sonora media e della velocità delle particelle d'aria rispetto alla loro posizione di equilibrio. La tecnica più diffusa per la misurazione della velocità delle particelle prevede l'impiego di due microfoni posti ad una distanza nota, e la valutazione tramite essi del gradiente di pressione; in conseguenza di quanto sopra, a seconda del campo di frequenza di interesse, potrebbe essere necessario eseguire due misure con una diversa distanza tra i microfoni (quest'ultima limitazione è stata recentemente superata con l'introduzione di sonde a quattro microfoni, che implementano quindi più distanze simultaneamente).

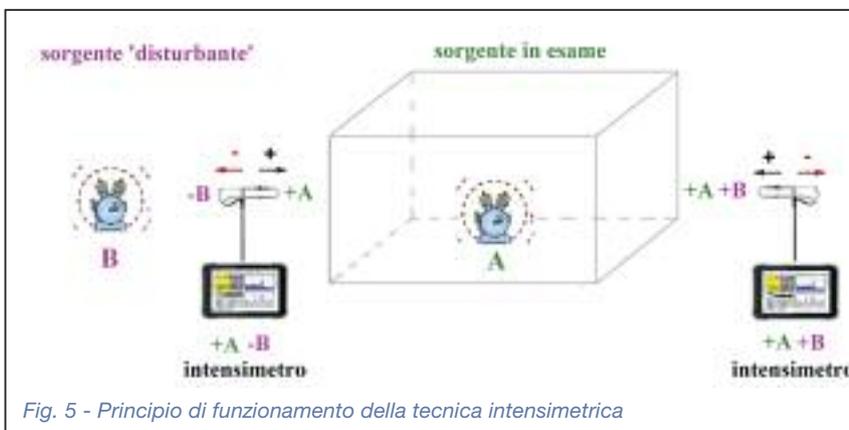


Fig. 5 - Principio di funzionamento della tecnica intensimetrica



Fig. 6 - Esempio di modellazione con software di simulazione di propagazione del rumore SoundPLAN

Dalla misura di intensità sonora, che si ricorda essere espressa in  $W/m^2$ , è immediato il calcolo della potenza sonora per mezzo del prodotto "intensità \* superficie" (in decibel il calcolo viene effettuato sommando alla intensità sonora, 10 volte il logaritmo in base 10 della superficie di misura espressa in  $m^2$ ). Quando sono state raccolte tutte le informazioni relative alla potenza sonora in banda di ottava e alla direttività delle sorgenti (per i camini ad esempio eseguendo misure ai diversi angoli), è possibile inserire tutti i dati nel modello e procedere quindi ad un primo calcolo dello stato di fatto. Le tipologie di sorgenti previste dai programmi di simulazione della propagazione sonora sono sostanzialmente quattro: sorgenti puntiformi, sorgenti lineari, sorgenti areali verticali e sorgenti areali orizzontali. L'algoritmo generalmente impiegato (ma non l'unico) implementa la tecnica ray-tracing e, nel

tracciamento dei raggi, il software tiene in considerazione le caratteristiche di assorbimento acustico in funzione della frequenza delle diverse superfici riflettenti, l'effetto schermante degli oggetti comprensivo di diffrazione anch'esso in funzione della frequenza, l'attenuazione atmosferica per bande di ottava. Realizzato il modello, prima di procedere con il suo utilizzo pratico, è necessario procedere alla calibrazione dello stesso; la calibrazione viene effettuata mediante il confronto dei livelli calcolati presso alcune postazioni site in prossimità dell'impianto, con quanto rilevato sperimentalmente negli stessi punti, e successivamente con una procedura analoga da effettuarsi utilizzando ulteriori postazioni presso i recettori; in caso di discrepanza tra i livelli simulati e quelli rilevati è necessario procedere alla individuazione ed alla correzione delle cause di tale discrepanza; l'ultimo passo per la calibrazione è una verifica finale da effettuarsi mediante l'impiego di nuovi punti di controllo. Le norme di riferimento sono la ISO9613 per quanto riguarda la propagazione del rumore, e la UNI 11143-1 (attualmente in revisione) per quanto riguarda la calibrazione. Nella realizzazione del modello acustico è opportuno non appesantire troppo quest'ultimo con dati di dettaglio acusticamente non rilevanti, con-

centrandosi invece sugli aspetti che possono migliorare l'affidabilità del modello stesso. Per quanto riguarda la cartografia, i programmi di simulazione più diffusi sono in grado di importare i formati più in uso quali ad esempio gli shape files o i file DXF. Con il modello opportunamente calibrato e verificato è possibile procedere, per ogni postazione di interesse, all'analisi del contributo fornito dalle singole sorgenti per quella postazione. L'ultimo passo prima della progettazione degli interventi è la previsione del beneficio ottenibile presso i diversi recettori, abbattendo ad esempio di una determinata quantità, una o più frequenze emesse da una o più sorgenti. Per ogni possibile scenario viene quindi lanciato nuovamente il calcolo, che consente infine di eseguire l'analisi costi/benefici finalizzata alla scelta degli interventi più adatti. La scelta delle possibili opere di mitigazione deve sempre privilegiare gli interventi alla fonte, seguiti solo successivamente dagli interventi sulle vie di propagazione del rumore, quali ad esempio schermi o barriere.

È bene ricordare come, durante il processo di valutazione dei possibili interventi, sia necessario valutare anche l'interferenza che questi possono avere con il funzionamento delle diverse macchine coinvolte. Non è infatti raro vedere realizzati cabinati che, non prevedendo una adeguata ventilazione, costringono le macchine poste all'interno di essi a funzionamenti in condizioni critiche, con possibilità di blocco per surriscaldamento, di incendio o di altri danni; nel caso in cui sia necessario prevedere l'areazione, anche questa deve ovviamente essere opportunamente silenziata in modo tale da non vanificare il beneficio dell'intervento realizzato; non ultimo, è necessario valutare in che modo cabinati e silenziatori, potrebbero determinare perdite di carico o causare altri effetti, tali da non permettere il corretto funzionamento delle macchine a cui afferiscono, con possibilità nuovamente di malfunzionamenti o danni.

*Intensità sonora:  
determinazione della  
potenza sonora  
di macchine industriali*

# Al lavoro, al sicuro

*formazione, consulenza e articoli  
per la sicurezza sul lavoro*



AMORINI.IT

 **AMORINI**



# MODELLIAMO LE TUE IDEE

**Multiasset Lab s.r.l.** è uno spin off dell'Università degli Studi di Perugia nato dalla sinergia tra ricercatori e professionisti con esperienza nel campo delle indagini numeriche e sperimentali per lo studio del comportamento strutturale.

La società si pone al servizio di studi di ingegneria, enti ed aziende per realizzare modelli fisici e numerici o svolgere indagini sperimentali finalizzate allo studio del comportamento di strutture e componenti sotto vari tipi di azioni (azioni statiche, vento, terremoto, incendio, vibrazioni ambientali, fatica).

## SERVIZI E PRODOTTI

- Modelli statici e dinamici per prove in galleria del vento e su tavola vibrante.
- Modelli numerici avanzati per analisi di strutture e componenti.
- Modelli per simulazioni di fluido-dinamica computazionale.
- Prove di carico per certificazione di prodotti e sviluppo di brevetti.
- Identificazione dinamica e monitoraggio statico e dinamico di strutture e infrastrutture.
- Modelli fisici e virtuali di architettura (plastici, rendering...).

