

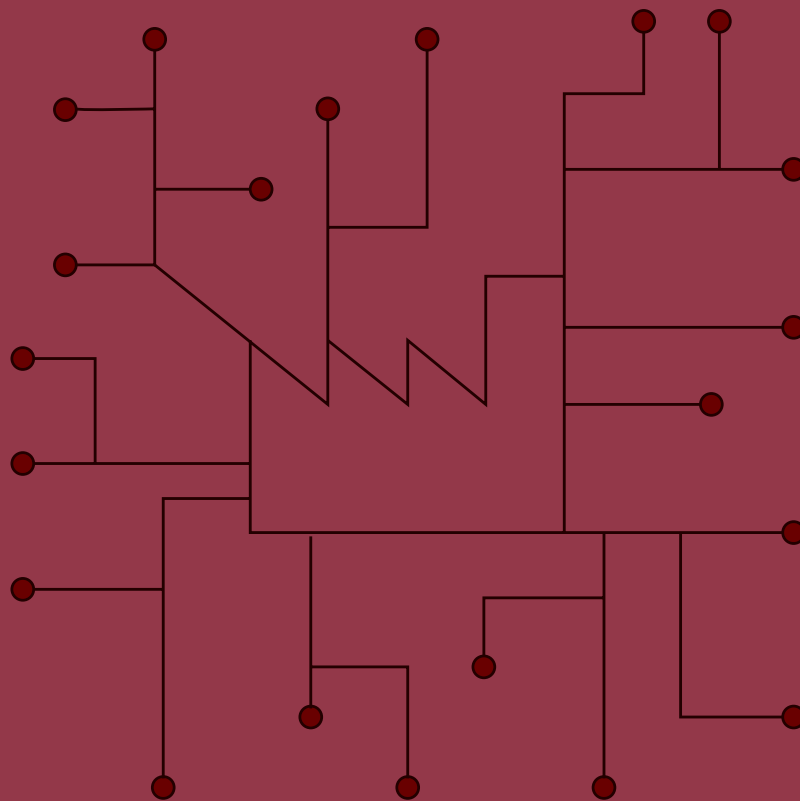


Osservatorio sulle Imprese

Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
Sapienza, Università di Roma

ECONOMIA E INGEGNERIA

Dinamiche comparate



Marzo 2022

Osservatorio sulle Imprese

Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale

Sapienza, Università di Roma

ECONOMIA E INGEGNERIA

Dinamiche comparate

Nicola Acocella, Adriano Alippi, Nunzio Allocca, Maria Cristina Annesini,
Mario Calabrese, Biagio Carboni, Federico Caricchi, Sandra Carillo,
Fabrizio Frezza, Riccardo Gallo (presidente), Walter Lacarbonara,
Salvatore Monaco, Francesco Napolitano, Elena Ridolfi, Nicola Verdone

INDICE

Sintesi e conclusioni

Premessa

Riccardo Gallo

1. Risposta delle strutture a uno shock

1.1. Reddito, crescita, inflazione, politiche pubbliche

Nicola Acocella

1.2. Dinamiche economiche in Italia

Riccardo Gallo

1.3. Oscillazione, dissipazione e conversione dell'energia

Federico Caricchi

1.4. Dinamica dell'Ingegneria delle acque

Francesco Napolitano ed Elena Ridolfi

1.5. Comportamento oscillatorio nei reattori chimici

Maria Cristina Annesini e Nicola Verdone

1.6. La via al caos delle subarmoniche

Adriano Alippi

1.7. Shock dinamico in strutture

Biagio Carboni, Sandra Carillo, Walter Lacarbonara

2. Strumenti di incentivazione

2.1. Incentivi, bonus, aiuti di Stato

Mario Calabrese e Riccardo Gallo

2.2. Reattori chimici, una partita tra termodinamica e cinetica chimica

Maria Cristina Annesini e Nicola Verdone

2.3. Autoeccitazione nei generatori elettrici

Federico Caricchi

Sintesi e conclusioni¹

Entro il prossimo 10 aprile il governo presenterà il DEF, Documento di Economia e Finanza. Viste la guerra in Ucraina e le difficoltà che ne conseguono al quadro geopolitico, quest'anno occorrerà una riflessione se possibile ancor più attenta del solito. Al centro vi saranno temi fondamentali come energia, benessere, crescita, occupazione, inflazione. Per essi questo lavoro offre una comparazione inedita tra processi di Economia e di Ingegneria (Automatica, Chimica, Elettrotecnica, Fisica Tecnica, Idraulica, Strutturistica) e propone indicazioni per il *policy maker*. Il legame tra le grandezze economiche è spiegato nel paragrafo 1.1 da Nicola Acocella.

Gli effetti economici della pandemia da Covid-19 e quelli della politica fortemente espansiva, adottata nella primavera 2020 dal governo dell'epoca, appaiono simili a quanto si verificò tra il 2009 e il 2013 dopo la crisi finanziaria mondiale del 2008. Come già allora, il PIL presenta un andamento oscillatorio, ma questa volta con un'ampiezza molto maggiore, essendo passato nel giro di un anno da -18,2% nel secondo trimestre del 2020 a +17,2% nel secondo trimestre 2021, come mostrato nel paragrafo 1.2 da Riccardo Gallo. L'oscillazione oggi è più ampia di allora perché lo shock della pandemia e il contro-shock della politica espansiva sono stati più intensi. Il debito che ha finanziato la politica espansiva è aumentato di ben 20 punti percentuali in quei dodici mesi (da 134,3% del PIL a 155,6%). La crescita accentuata nel primo semestre 2021 si sta esaurendo. Non era vero che l'Italia fosse in boom economico. La variazione del PIL è destinata a tornare in terreno negativo, forse nel 2023, contrariamente alla previsione di un +2,2% del FMI, e ciò appunto per il carattere oscillatorio del fenomeno. Gli effetti penalizzanti del quadro mondiale per l'invasione dell'Ucraina hanno un'origine temporalmente successiva, si sovrappongono.

L'eccesso di massa monetaria introdotta nel sistema nel 2020 dalla politica espansiva a sostegno alla domanda aggregata ha anche innescato l'inflazione. Le aspettative a 12 mesi (gennaio 2022 sulla base di indagini del mese prima) sono che a fine anno il tasso di inflazione superi il 3%. L'inflazione dunque è aumentata indipendentemente e già prima dell'aumento del prezzo di gas e materie prime agricole, dovuto alle tensioni internazionali, i cui effetti si ripercuoteranno a favore di ulteriori spinte al rialzo. L'inflazione da domanda è un surriscaldamento dei prezzi, una perdita di moneta. Il suo andamento corrente appare in controtendenza con quello della crescita. Un'ipotesi meritevole di verifica è che le ragioni dell'andamento oscillatorio siano:

1. La velocità di spesa (corrente o di investimento) è stata inferiore alla velocità di immissione di risorse liquide.
2. La perdita di moneta a causa dell'inflazione ha un andamento in controfase con il PIL.

La comparazione con Ingegneria conforta la solidità di questa ipotesi. Infatti:

- a. In un circuito elettrico, con un condensatore e un induttore, l'ampiezza delle oscillazioni è maggiore quanta più energia è caricata nel condensatore e questo (una volta chiuso il circuito) la trasferisce all'induttore, che poi a sua volta ricarica il condensatore, e così continuando, come spiegato nel paragrafo 1.3 da Federico Caricchi.

¹ Sintesi e conclusioni sono state discusse e arricchite da Nunzio Allocca, Fabrizio Frezza, Salvatore Monaco.

- b. In un bacino idrografico può arrivare una cosiddetta bomba d'acqua, un'inondazione (sempre più probabile visti i cambiamenti climatici) che provoca innalzamento del livello e, se manca una soluzione alternativa, provoca esondazione, dissipazione di acqua, danni a popolazioni e attività esposte, come spiegato nel paragrafo 1.4 da Francesco Napolitano ed Elena Ridolfi.
- c. In un reattore chimico perfettamente mescolato si può verificare un fenomeno detto di molteplicità degli stati stazionari; a parità di condizioni esterne, il reattore può portarsi a funzionare in diverse condizioni stabili, determinate dal bilancio tra il tasso di generazione di calore e il tasso di rimozione di calore. In particolari condizioni, si può osservare un comportamento oscillatorio, in cui conversione e temperatura variano con continuità nel tempo, tra i medesimi valori minimi e massimi, come spiegato nel paragrafo 1.5 da Maria Cristina Annesini e Nicola Verdone.
- d. In acustica, per la natura non lineare della legge che governa il fenomeno, una variazione infinitesima dei valori delle grandezze nelle condizioni così dette iniziali conduce inevitabilmente a punti di biforcazione in cui il sistema può evolvere in modi assolutamente diversi. Questo fenomeno è facilmente individuabile in strutture come gli oscillatori elastici, del tipo del pendolo, come spiegato nel paragrafo 1.6 da Adriano Alippi.
- e. Strutture in senso lato possono essere soggette a improvviso shock dinamico (terremoti, esplosioni o raffiche di vento). In questi casi, le strutture rispondono in modo oscillatorio e complesso. I primi cicli spesso sono amplificati dalla risonanza quando il tremore della terra o le fluttuazioni delle raffiche di vento avvengono con una ciclicità prossima a quella secondo cui la struttura investita oscillerebbe se venisse deformata lentamente e poi lasciata libera di vibrare. Nella fase di risposta ciclica, le strutture possono subire ingenti danni o collassare a causa dell'incapacità di contenere l'enorme energia trasferita che viene trasformata in maniera graduale o repentina in un'eccessiva energia di deformazione, come spiegato nel paragrafo 1.7 da Biagio Carboni, Sandra Carillo, Walter Lacarbonara.

Quelli descritti sono comportamenti caratteristici dei sistemi dinamici, e si riscontrano sia alla piccola scala (negli esempi del circuito elettrico, del pendolo e del reattore chimico), sia alla grande scala (negli esempi delle strutture e delle manifestazioni meteorologiche). Tali comportamenti hanno a denominatore comune un fenomeno fisico fondamentale, la risonanza, alla base di numerosi prodotti della tecnologia che sfruttano l'innescò e l'autosostentamento delle oscillazioni, ma che in molte altre situazioni si rivela dannoso, se non distruttivo. In ogni caso la presenza di questi fenomeni richiede l'adozione di adeguati interventi di controllo. L'analogia con il sistema economico, esso stesso un sistema controllato, è ancora più forte se si considera che in essi le due cause citate, i ritardi e l'eccesso di alimentazione, sono nella maggior parte dei casi responsabili dell'innescò di fenomeni indesiderati del tipo indicato.

La riduzione dell'ampiezza delle oscillazioni, dunque, è legata strettamente alla possibilità di estrarre energia o risorsa idrica o massa monetaria. La Commissione europea ha espresso l'opinione che l'Italia debba preservare gli investimenti finanziati a livello nazionale, mentre non ha detto che debba preservare la spesa corrente. D'altra parte, non a caso, il *Framework* straordinario che ha consentito la spesa corrente della politica espansiva è stato qualificato con l'aggettivo *Temporary* (paragrafo 1.2).

Il quesito è: esistono modi virtuosi per estrarre massa monetaria e valorizzarla, senza ricorrere alla dissipazione mediante inflazione? Dalla comparazione con Ingegneria emergono le seguenti indicazioni di risposta al quesito:

- f. In un circuito elettrico, l'estrazione di eccesso di energia può avvenire mediante l'inserimento di un resistore che dissipa energia in calore. La conseguenza è che nelle oscillazioni susseguenti l'energia scambiata decresce, così come l'ampiezza delle oscillazioni fino

alla loro estinzione. L'estrazione di energia dal circuito può essere affidata anche a un componente non dissipativo, che la rende disponibile come energia meccanica all'albero di un motore. Le oscillazioni anche in questo caso si riducono progressivamente fino all'estinzione (paragrafo 1.3).

- g. Nel bacino idrografico è auspicata una soluzione alternativa per evitare dissipazione di risorsa idrica. Ebbene questa può essere costituita da un'adeguata infrastrutturazione per l'emergenza (arginatura, invasi di laminazione) (paragrafo 1.4).
- h. Nel reattore chimico, la diagnosi del problema può essere evidenziata rappresentando il comportamento del sistema sul cosiddetto piano delle fasi; la soluzione consiste nel prevenire il verificarsi di queste condizioni mediante una idonea progettazione del reattore e l'ausilio dei sistemi di controllo automatico (paragrafo 1.5).
- i. Nelle strutture, il controllo dell'amplificazione dinamica prevede che la struttura sia concepita per essere capace di dissipare in maniera appropriata l'energia ricevuta e nel migliore dei casi di sfruttarla per altri scopi come si cerca di fare nell'ambito della captazione e trasformazione dell'energia, noto nella letteratura internazionale come *energy harvesting*. Per raggiungere questo obiettivo, si possono adottare diversi metodi che continuano ad evolversi nel corso degli anni, tra i quali il più efficace è un sistema non lineare di stabilizzazione passivo fatto di masse accordate oscillanti (paragrafo 1.7).

La politica economica espansiva ha allocato risorse nei canali già funzionanti, ove necessario facendosele autorizzare in deroga dalla Commissione europea ai sensi del *Temporary Framework*, e ha varato nuovi strumenti laddove ha ritenuto che quelli vigenti fossero insufficienti. Se ci si limita alle risorse destinate nel 2020 alle attività economiche e produttive, gestite dal Ministero dello sviluppo economico, si contano “Iniziativa per il rilancio dell'economia” con una dotazione finanziaria di 4,9 miliardi, un pacchetto “Cura Italia” per 3,4 miliardi, una “Garanzia Italia” con una dotazione (potenziale) di 205 miliardi, un pacchetto di “Aiuti per il rilancio” per 78,5 miliardi, di cui 44 miliardi per la ricapitalizzazione delle grandi imprese. Queste misure sono state inserite in un sistema già vigente da un paio d'anni di incentivi per: valorizzare edifici con fonti energetiche rinnovabili e ridurre il rischio sisma, aprire e ampliare attività commerciali, depositare brevetti e marchi, assumere giovani, e poi bonus bebè, bonus asili nido, bonus cultura ai diciottenni per acquistare libri e spettacoli, sport-bonus, bonus facciate. Ogni incentivo o bonus si configura come indennizzo e corrisponde a un'infrastruttura pubblica non realizzata, a un servizio non offerto, a un asilo nido non costruito, a una cultura non insegnata, a un investimento materiale o immateriale non fatto.

Il governo ha adottato le misure di politica espansiva a più riprese. È stato indotto a questa reiterazione perché gli effetti delle misure tardavano a manifestarsi, forse per la complessità, l'articolazione territoriale, il decentramento multiplo, l'inefficienza in Italia della Pubblica Amministrazione, che intralciano un sollecito impiego delle somme allocate. Il tasso di velocità di impiego delle risorse è stato inferiore al tasso di allocazione. Esattamente come nell'esempio del reattore chimico, o del bacino idrografico, o del circuito elettrico, o della struttura civile. A fine 2020 l'indice di liquidità primaria delle società industriali italiane, medie e grandi, era salito a 0,91 che è il massimo assoluto degli ultimi 55 anni, superiore di un 20% alla liquidità media dell'ultimo mezzo secolo. Questo dato conferma che gran parte delle risorse finanziarie liquide a fine 2020 era in cassa non investito. È per queste ragioni che forse reiterazione, ritardi, inflazione in controfase determinano il carattere oscillatorio.

Bonus e aiuti sono stati comparati in Ingegneria ai catalizzatori della chimica e all'eccitazione dei rotor in elettromeccanica. Ne è emerso che:

- j. In un reattore chimico, per aumentare la velocità di una reazione si possono impiegare catalizzatori, cioè sostanze che riducono la barriera energetica (energia di attivazione) per

accelerare la trasformazione di reagenti in prodotti. Emerge che non conviene aumentare senza limiti la quantità di catalizzatore (paragrafo 2.2).

- k. Nei gruppi elettrogeni si utilizzano generatori in grado di auto-fornirsi la piccola potenza elettrica necessaria a far partire il rotore. In caso di lunghi periodi di inattività, il rotore non conserva il magnetismo residuo che gli occorre a ripartire. Per rimediare, è necessario fornire una piccola quantità di energia dall'esterno che possa attivare la magnetizzazione. Un eventuale eccesso di energia fornita dall'esterno non produrrebbe effetti più rilevanti.

In conclusione, la guerra in Ucraina porterà nuovi problemi alla crescita, sia da lato delle materie prime energetiche, sia da quello della domanda estera, e potrà suggerire un'ulteriore politica espansiva, fatta di aiuti e spesa pubblica. Questa pressione indurrà più ampie oscillazioni nell'andamento del PIL. L'Italia non ha ancora realizzato le riforme che occorrono non solo e non tanto a ottenere l'erogazione dei fondi del PNRR, ma soprattutto a eliminare i colli di bottiglia strutturali, ossia a eliminare gli ostacoli che impediscono al paese di impiegare le risorse finanziarie velocemente e proficuamente. Per tutte queste ragioni, il compimento di riforme piene, non edulcorate, è forse la condizione più urgente. Al tempo stesso, questo lavoro di comparazione tra Economia e Ingegneria suggerisce di prendere in considerazione nell'immediato politiche economiche mirate a estrarre l'eccesso di massa monetaria, quindi a stabilizzare il sistema, contrastare l'inflazione, e convertire le risorse estratte in fonti di finanziamento di investimenti aggiuntivi a quelli del PNRR.

PREMESSA

Riccardo Gallo

Questo lavoro è un primo esempio di analisi riduzionistica comparata tra Economia e Ingegneria. In passato, l'approccio interdisciplinare connotò molti lavori di insigni economisti, taluni anche ingegneri come Vilfredo Pareto tra il XIX e il XX secolo, ma l'interdisciplinarietà si sostanziò nel connubio tra Economia e Matematica. Fu Alvin E. Roth, premio Nobel 2012 per l'Economia, a magnificare quegli economisti-ingegneri che non solo facessero ricerca sulle leggi fondamentali dell'economia, dei mercati e delle organizzazioni, ma soprattutto sapessero progettare e realizzare operativamente nuove forme di interazione e nuovi mercati. La Facoltà di Ingegneria della Sapienza rivendica la primogenitura per aver istituito nel 1963, prima Facoltà in Italia, il corso di *Economia Industriale* nella laurea in Ingegneria elettrotecnica, una sorta di applicazione dell'Economia all'Ingegneria industriale, con un programma mirato all'economicità delle attività di produzione. Tredici anni dopo, chi scrive (ingegnere) raccolse il testimone della titolarità di quel corso. Solo a partire dal 1967 alcune Facoltà di Economia di altre Università introdussero corsi di *Economia industriale*, quale applicazione dell'Economia politica al settore industriale. Poco frequenti sono le interazioni paritarie tra economisti e ingegneri, come alcune delineate dal Politecnico di Milano. Altro è l'Ingegneria gestionale, denominata in origine Ingegneria delle tecnologie industriali ad indirizzo economico-organizzativo, introdotta nell'Università della Calabria nel 1972 dal Rettore Beniamino Andreatta e diffusasi via via in tutta Italia.

Il Nobel 2021 per la Fisica a Giorgio Parisi, già ordinario di *Fisica teorica, modelli e metodi matematici* alla Sapienza, è stato assegnato per i suoi studi sui sistemi complessi, intesi quali sistemi e sottosistemi interagenti, dinamici a molti componenti, analizzati nella loro totalità mediante modelli matematici. Questa teoria dei sistemi complessi supera l'analisi detta riduzionistica, la quale studia singole parti separate e poi le mette insieme.

Il presente lavoro rientra in quest'ultimo filone, perché svolge un'analisi solo qualitativa tra l'Economia e l'Ingegneria (nelle sue articolazioni automatica, chimica, elettrotecnica, fisica tecnica, idraulica, strutturistica), ma – questa è la novità – ne compara ragionamenti e risultati con una logica paritaria, e avanza ipotesi di soluzioni generali meritevoli di verifiche. Nel primo capitolo viene comparata la risposta dinamica di strutture diverse a shock esterni, improvvisi e severi, come è stata la pandemia da Covid-19 e come può essere la crisi in Ucraina, e vengono studiate le possibili soluzioni per stabilizzare le strutture con o senza dissipazioni, anzi valorizzando le risorse in eccesso. Nel secondo capitolo vengono comparati strumenti di incentivazione economica (bonus, ristori) e di accelerazione di processi di ingegneria, e ne vengono segnalati i limiti.

Nel prosieguo, ulteriori tematiche, diverse da crescita, inflazione, bonus, potranno essere trattate nell'alveo qui tracciato, grazie alla vasta gamma di competenze in ricerca e didattica presenti in Sapienza e grazie alla Terza missione che questa svolge, interagendo dialetticamente e proficuamente con il tessuto produttivo e la società civile.

1. RISPOSTA DELLE STRUTTURE A UNO SHOCK

1.1 Reddito, crescita, inflazione, politiche pubbliche

Nicola Acocella

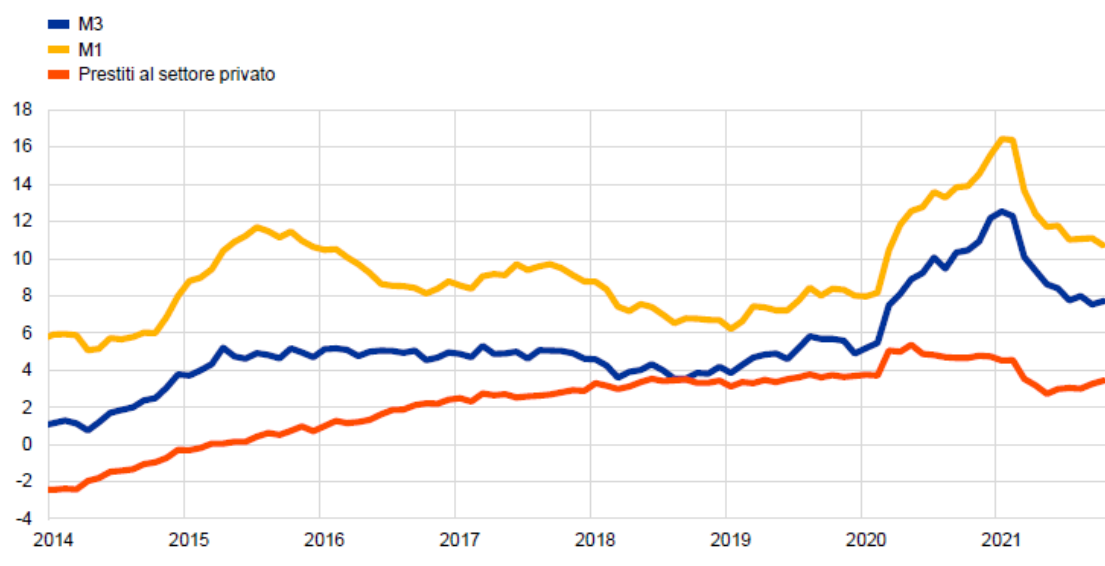
Il PIL è il prodotto interno lordo. Questa grandezza misura il valore totale espresso in termini dei prezzi di mercato, di tutti i *nuovi* beni e i servizi prodotti all'*interno* di un sistema economico in un dato arco di tempo, normalmente l'anno. Nel calcolarlo, però, bisogna evitare le duplicazioni che deriverebbero se al valore dei beni finali (ossia dei beni utilizzabili per il consumo o l'investimento, all'interno di un paese o all'estero) si sommasse anche il valore dei prodotti intermedi, necessari per produrre i beni finali, o delle materie prime. Il termine *lordo* si riferisce al fatto che, nel misurare il valore dei *nuovi* beni non si tiene conto del deprezzamento e della perdita di valore subita dai beni strumentali (ad esempio, impianti) necessari per produrli. Se lo si facesse, ossia detraendo il valore del cosiddetto ammortamento, si avrebbe il prodotto interno netto (PIN). Il valore dei beni prodotti in un paese viene ripartito fra coloro che hanno contribuito alla produzione, salariati, capitalisti e proprietari di beni immobili, ossia corrisponde alla somma dei salari, dei profitti e delle rendite.

Normalmente, il valore del PIL viene inteso come indicatore del benessere di un paese, se diviso per il numero dei suoi abitanti (PIL pro capite). La variazione di queste grandezze in un dato periodo – saggio di crescita – è dunque un indicatore della velocità con la quale varia tale benessere. Ovviamente, esistono altri indicatori del benessere di un paese, come *l'indicatore di sviluppo umano* (ISU), calcolato dalle Nazioni Unite e derivato da principi espressi dal premio Nobel per l'economia Amartya Sen e basato su tre elementi essenziali della vita di una comunità: longevità, grado di conoscenza e standard di vita. Il grado di sviluppo dei vari paesi secondo l'ISU appare notevolmente diverso da quello secondo l'indicatore tradizionale del PIL. Con riferimento al 2020, fra i casi più eclatanti quelli di paradisi fiscali come il Lussemburgo (23° per ISU e 1° per PIL pro capite) o – all'opposto – il Qatar (rispettivamente, 45° o 3°) e altri paesi produttori di petrolio. La posizione dell'Italia resta abbastanza stabile (29° e 30°). Vari paesi che facevano parte dell'URSS, nonché Albania, Cuba, Repubblica Dominicana ed Ecuador salgono di vari posti nella graduatoria secondo l'ISU, mentre molti paesi dell'Africa sub-sahariana scendono di molte decine di posti secondo la stessa graduatoria.

Tuttavia, il PIL è l'indicatore più comunemente utilizzato. Per evitare comparazioni che portino a conclusioni errate, normalmente i beni prodotti nel periodo considerato, invece di essere valutati ai prezzi di mercato *correnti*, vengono valutati a prezzi costanti, prendendo quelli praticati in un dato *anno base*. Nel primo caso si parla di PIL *nominale*, mentre il PIL riferito a un anno base è il PIL *reale*. È importante, dunque, assicurare nelle comparazioni temporali per un dato paese che i valori del PIL prodotto in un certo anno siano quelli dell'anno base. Nel medio-lungo periodo si ha normalmente un tasso di crescita positivo, se si prescinde dai casi di stagnazione, come quello che si ebbe per la 'Grande crisi' dopo il 1929 e fino al riarmo per la seconda guerra mondiale. Nel breve-medio periodo si hanno invece normalmente oscillazioni cicliche, come quella connessa con la pandemia, con riduzione del PIL nel 2019 e parte del 2020 e ripresa ed espansione successivamente. Ovviamente, a queste variazioni del PIL si associano variazioni dello stesso segno per l'occupazione e di segno contrario per la disoccupazione. Nel lungo periodo è più difficile ritrovare

aumenti dell'occupazione, perché il progresso tecnico tende normalmente a ridurre la quantità del lavoro necessaria per la produzione.

Lo stato reagisce di norma alle cadute di PIL ed occupazione principalmente con misure espansive di politica monetaria (aumento della quantità di moneta e riduzione dei tassi di interesse) e fiscale (riduzione delle imposte e aumento delle spese pubbliche). Nel caso di eccessiva espansione – surriscaldamento dell'economia – le misure restrittive sono di tipo opposto. In Economia vi è dunque un nesso di causa ed effetto tra eccesso di espansione o di crescita e surriscaldamento. La quantità di moneta che normalmente si utilizza, $M3$, comprende non solo la moneta corrente, ma anche i depositi bancari e postali a breve termine, che possono svolgere il ruolo di mezzi di pagamento, e altri strumenti di minor rilievo, come mostrato nella fig. 1.1.1. Alle variazioni della quantità della moneta corrispondono variazioni dello stesso segno del credito bancario.



Fonte: BCE.

Note: il dato sui prestiti è corretto per l'effetto di cessioni, cartolarizzazioni e notional cash pooling. Le ultime osservazioni si riferiscono a ottobre 2021.

Figura 1.1.1. M3, M1 e prestiti al settore privato (variazioni percentuali sui dodici mesi, dati destagionalizzati e corretti per gli effetti di calendario).

È importante chiarire che le misure per regolare l'economia che vengono adottate dipendono in parte da politiche in larga misura disponibili all'interno del paese, per ciò che concerne la politica fiscale, e in parte da azioni a noi estranee, in quanto la politica monetaria è responsabilità della Banca Centrale Europea (BCE), essendo il nostro paese membro dell'Unione Monetaria Europea (UME). La BCE riceve qualche ausilio e orientamento dalle banche centrali nazionali come la Banca d'Italia, ma questi non sono decisivi, dovendo essa tener conto dell'andamento economico di tutti i paesi appartenenti all'Unione e soprattutto del suo statuto che stabilisce il suo obiettivo prioritario nel contenimento dell'inflazione entro un valore inferiore – ma vicino – al 2% annuo.

Si è detto prima che la politica fiscale è invece di competenza nazionale. Tuttavia, va precisato che essa è sottoposta a vincoli europei. Fra questi vi è anzitutto il Patto di Stabilità e Crescita (PSC), che fissa al 3% il massimo deficit pubblico annuale. Ancor più restrittivo è il cosiddetto *fiscal compact* (accordo fiscale). Il principio cardine del trattato che istituisce il *fiscal compact* è quello del conseguimento da parte di ciascuno Stato del pareggio di bilancio, cioè dell'equilibrio tra entrate e uscite, introducendo tale principio in 'disposizioni vincolanti e di natura permanente – preferibilmente costituzionale', come fatto in Italia nell'aprile del 2012, con l'inserimento nella nostra Costituzione

attraverso una modifica degli articoli 81, 117 e 119. Il fiscal compact prevede anche che i Paesi con un rapporto tra debito e Pil superiore al 60% previsto dal Trattato di Maastricht (su cui si basa la costituzione dell'UME), debbano ridurre il rapporto stesso di almeno un ventesimo all'anno per raggiungere il 60%. Così, il nostro paese, che ha attualmente un rapporto fra debito pubblico e PIL pari al 150-160%, dovrebbe ridurre questo rapporto del 4-5% all'anno.

La figura 1.1.2 mostra l'andamento del PIL e del debito pubblico negli ultimi 60 anni. Si possono vedere il boom economico del dopoguerra, che dura ancora negli anni Settanta e Ottanta, il pratico arresto della crescita dal 2008 (data di inizio della crisi finanziaria) in poi e successivamente il crollo del 2020 a causa della pandemia. La figura non mostra la ripresa e l'elevato aumento del PIL nel 2021. Il rapporto fra PIL e debito pubblico si impenna pure dagli anni Ottanta, fino a che - con l'adesione all'UME - addirittura cala, per poi accrescersi per effetto della crisi finanziaria e della pandemia.

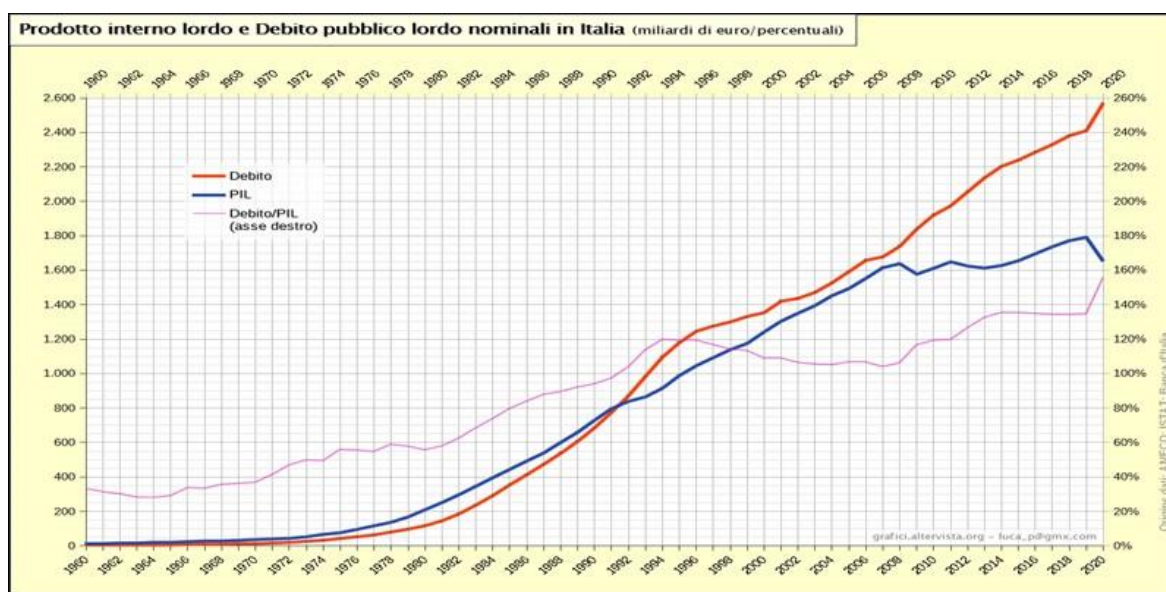


Figura 1.1.2. PIL e debito pubblico in Italia, 1960-2020 (miliardi di euro e %).

Alle variazioni del PIL (e quindi dei redditi corrisposti nello stesso arco di tempo e della domanda di beni connessa con tali redditi) si associano normalmente variazioni dei prezzi (*inflazione*, se in aumento, *deflazione*, se in riduzione). Si parla allora di *inflazione da domanda*. Le variazioni dei prezzi possono anche scaturire da altri fattori, principalmente da variazioni dei costi, come per le variazioni dei salari, dei profitti o delle rendite, oppure dai costi delle materie prime, come dell'energia, responsabile principale dell'inflazione nel 2021-22. Si parla allora di *inflazione da costi*. Il tasso di inflazione si riferisce di norma alle variazioni dei prezzi dei soli beni di consumo presenti sul mercato interno.

Di recente, i problemi anche economici derivanti dalla pandemia hanno avuto qualche effetto sulle politiche europee, in particolare sulle norme di politica fiscale. Infatti, anzitutto, il PSC e il fiscal compact sono stati sospesi. Inoltre, per finanziare la spesa del programma di 'Next Generation EU' (La prossima generazione dell'UE) e i piani nazionali per la ripresa e resilienza (PNRR), per la prima volta dopo molti anni, è stata praticamente raddoppiata la misura del bilancio fiscale dell'UE, il cui rapporto con il PIL è aumentato al valore di circa il 2%. Una parte ulteriore del finanziamento di questo programma è finanziata dall'emissione di *Eurobonds*, ossia di titoli pubblici del cui rimborso sono responsabili tutti i paesi dell'UE. L'aumento del bilancio pubblico e l'emissione di Eurobonds non provocheranno di per sé un surriscaldamento dell'economia, essendo invece queste

misure legate alla necessità di consentire di superare la riduzione dell'attività economica dovuta alla pandemia e di aumentare il tasso di crescita.

1.2 Dinamiche economiche in Italia

Riccardo Gallo

Per analizzare la dinamica dei processi economici in atto, che sono seguiti alla pandemia del 2020, e per apprezzare l'impatto delle politiche adottate nell'Ue e nel nostro paese, è stato raffrontato l'andamento del PIL tra il 2019 e il 2023 con quello della precedente crisi economica globale. Questa nacque finanziaria nel 2008 con il fallimento della banca Lehman Brothers, divenne economica e industriale nel 2009 e si protrasse oltre il 2013. È stata qui utilizzata la variazione trimestrale tendenziale¹ del PIL secondo i dati rilevati dall'Istat a oggi e secondo le previsioni Istat (3 dicembre 2021) e FMI (25 gennaio 2022) al 2022 e 2023. Per una migliore visualizzazione, le due curve sono state sovrapposte nel diagramma di fig. 1.2.1: con pallini neri la curva tra il 2008 e il 2013 (asse orizzontale delle ascisse in basso) e con quadratini blu la curva tra 2019 e 2023 (asse orizzontale delle ascisse in alto). Si vede con chiarezza che entrambe presentano un andamento oscillatorio, ma quella in atto ha un'ampiezza molto maggiore, presumibilmente a causa della maggior intensità dello shock. Infatti:

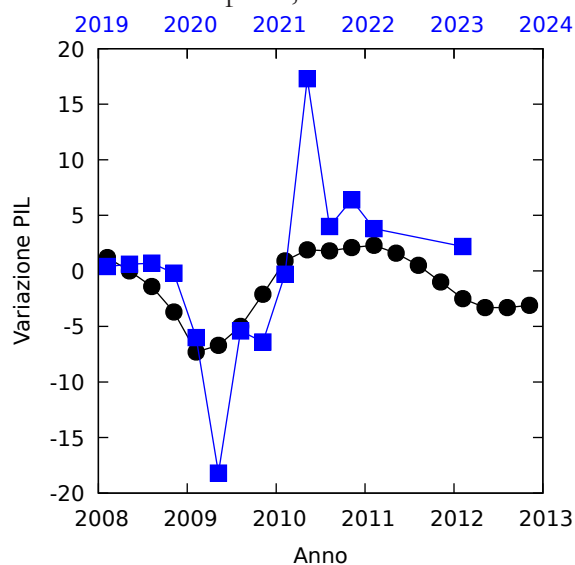


Figura 1.2.1

- la caduta nel secondo trimestre del 2020 (-18,2%) è stata pari a poco meno del triplo di quella del secondo trimestre del 2009 (-6,7%)
- la crescita nel secondo trimestre 2021 (+17,2%) è stata più di sette volte quella (+2,3%) del primo trimestre 2011
- la minor crescita per il 2022, attesa dall'Istat al +4,7% e dal FMI al 3,8%, potrebbe essere seguita nel 2023 non dalla crescita prevista dal FMI al +2,2%, bensì addirittura da una decrescita, se si estrapolasse il ramo calante nel 2022.

Già prima del 2020, anno del Covid-19, l'Italia aveva una crescita economica pressoché nulla (+0,3% nel 2019), un debito pubblico pari al 134% del PIL, in ciò secondo in Ue solo alla Grecia (181%), molto superiore a quello di Francia (97%) e Germania (59%) (BCE Eurosystema 2021, p. 179). A partire dal 2020, la politica economica è stata fortemente espansiva, sia da parte delle autorità europee, in termini monetari come si è visto per l'aggregato M3 nella fig. 1.1.1 del paragrafo precedente, e in termini autorizzatori per la deroga alla disciplina ordinaria (*Temporary Framework*), sia da parte del governo italiano in termini di spesa pubblica e aiuti di Stato. In Italia è seguita una repentina lievitazione del debito pubblico, salito di 21,3 punti percentuali in un solo anno, da 134,3% del PIL nel 2019 a 155,6% nel 2020. Nella graduatoria dell'aumento del debito in rapporto al PIL, hanno fatto peggio dell'Italia soltanto Grecia (25,6 punti), Spagna (24,5), Cipro (24,2) (Banca d'Italia 2022a, pp. 50-51).

¹ Tendenziale significa in raffronto al medesimo trimestre dell'anno prima.

La straordinaria intensità della politica espansiva si è configurata come un vero e proprio contro-shock a quello negativo della pandemia, e ha portato a un poderoso rimbalzo del PIL tra metà 2020 e metà 2021. Taluni esponenti nei mesi scorsi hanno dichiarato che l'Italia sarebbe in un vero boom economico. Altri imputano la decelerazione della crescita nel 2022 prevalentemente a variabili esogene, tensioni geopolitiche e rincari di materie prime. La presente analisi più prudentemente non esclude che la dinamica oscillatoria consegua al duplice improvviso e fortissimo shock.

Al tempo stesso, l'inflazione è fortemente risalita e le aspettative a 12 mesi sono che continuerà ad aumentare, superando di slancio il tasso del 3% (fig. 1.2.2) (Banca d'Italia 2022b). Essa è il risultato della sovrapposizione di un'inflazione da domanda, cioè un surriscaldamento dei prezzi, indotta naturalmente dalla politica espansiva e, come è spiegato nel paragrafo 1.1, di una successiva inflazione da costi, dovuta a un aumento forte eppure prevedibilmente temporaneo del prezzo di gas ed energia elettrica.

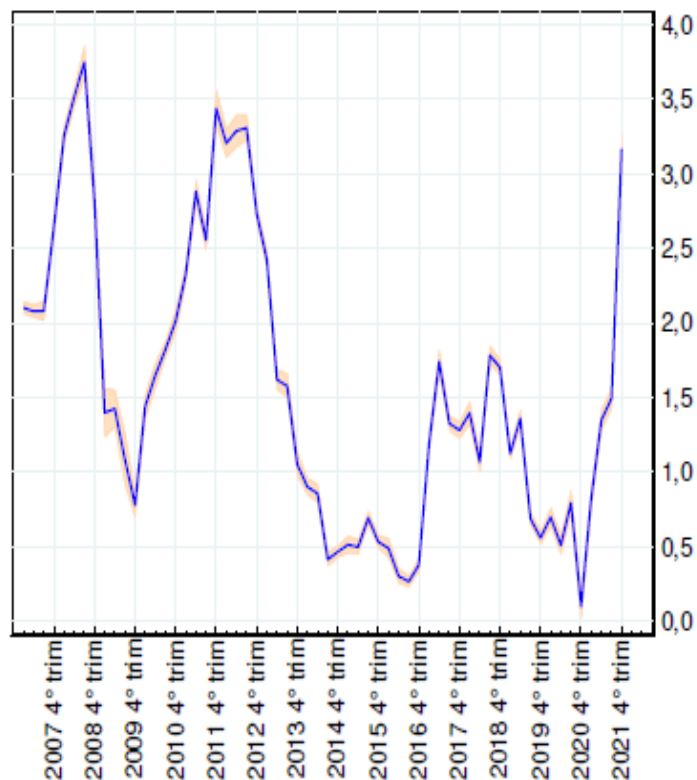


Figura 1.2.2 Aspettative di inflazione tra 12 mesi.

Il ruolo del PNRR va poi collocato in un quadro a medio termine, entro il 2026 quando, secondo programma, il piano avrà conseguito i 520 obiettivi o risultati, con una spesa lorda di 191,5 miliardi e una copertura costituita per 122,6 miliardi (64%) da prestiti che si sommeranno al debito pubblico preesistente. La Commissione europea ha espresso l'opinione che l'Italia debba utilizzare i fondi del PNRR per finanziare investimenti ulteriori a sostegno della ripresa, nel senso che comunque debba preservare gli investimenti (già) finanziati a livello nazionale (BCE Eurosystema 2021, p. 102). La Commissione non ha esplicitato una seconda parte del ragionamento, cioè che l'Italia non debba preservare la spesa corrente nazionale. D'altra parte dovrebbe bastare l'aggettivo *Temporary* con cui essa ha qualificato il *Network* straordinario. Quindi, va studiato il raccordo tra politica espansiva emergenziale, adottata a partire dal 2020, e politica correttiva strutturale in corso, sotto l'indirizzo e con il sostegno della Commissione europea. Resta poi da chiarire la questione del debito, sia quanto a sostenibilità in rapporto al PIL, sia quanto a valore assoluto. Infine, ma non disgiunto dalla spesa

pubblica e dal debito, compito delle Autorità italiane è decidere se adottare o meno e, se sì, quale e quando, una politica di spegnimento dell'inflazione. In ogni caso, vanno esplorati gli impatti e le possibili alternative.

Nei paragrafi che seguono, su tutti questi temi viene sviluppata un'analisi comparata di sistemi ingegneristici e di quello economico, e alla fine vengono desunti spunti meritevoli di attenta verifica, da sottoporre al policy maker.

Riferimenti bibliografici

Banca d'Italia (2022):

Bollettino economico, n. 1.

Indagine sulle aspettative di inflazione e crescita. Statistiche, 13 gennaio.

BCE Eurosystema (2021), *Bollettino economico*, n. 8.

1.3 Oscillazione, dissipazione e conversione dell'energia

Federico Caricchi

In un circuito elettrico si possono manifestare oscillazioni delle grandezze elettriche che interessano i componenti circuitali (tensione ai capi dei componenti, corrente nei componenti) dovute alla periodica trasformazione dell'energia accumulata nei componenti del circuito.

I componenti circuitali in grado di accumulare energia sono: il condensatore, in cui l'energia è immagazzinata nel campo elettrico presente fra le due armature sottoposte a una tensione (è una forma di "energia potenziale") e l'induttore, in cui l'energia è immagazzinata nel campo magnetico generato dalla circolazione della corrente nel conduttore ("energia cinetica"). Se a partire da una condizione iniziale in cui i due componenti sono scollegati e su uno di essi viene immessa energia, per esempio il condensatore viene caricato applicando una tensione fra le armature, chiudendo il circuito ha inizio il

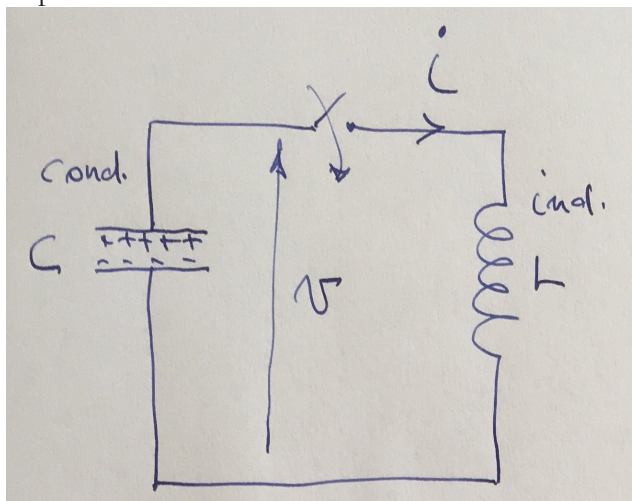


Figura 1.3.1

il processo di trasferimento di energia da un componente all'altro (fig. 1.3.1): il condensatore cede energia all'induttore con una progressiva riduzione della tensione fra le sue armature e un conseguente aumento della corrente nell'induttore fino all'annullamento della tensione sul condensatore e al raggiungimento del valore massimo della corrente nell'induttore. In questo istante tutta l'energia accumulata inizialmente nel condensatore è stata trasferita all'induttore che continua a sostenere la circolazione di corrente nel circuito, e quindi anche nel condensatore, iniziando un processo di ricarica del condensatore riaumentandone il valore di tensione fra le armature a scapito della riduzione progressiva della corrente nei due componenti.

La tensione ai capi dei due componenti e la corrente in essi assumono un andamento nel tempo sinusoidale (fig. 1.3.2), oscillando fra un valore massimo ed uno minimo con una frequenza propria che dipende dal valore della capacità del condensatore e dal valore dell'induttanza dell'induttore; quando la tensione ai capi dei componenti è massima, la corrente in essi è nulla (energia solo po-

tenziale nel condensatore); quando la corrente è massima, la tensione sui componenti è nulla (energia solo cinetica nell'induttore): tensione e corrente sono quindi in quadratura (sfasamento di un quarto del periodo delle oscillazioni). L'ampiezza delle oscillazioni, differenza fra il valore massimo e quello minimo raggiunti, dipende dalla quantità di energia che inizialmente era stata immessa su uno dei componenti (carica del condensatore); la periodicità delle oscillazioni, cioè il numero di volte che nell'unità di tempo avviene il trasferimento completo dell'energia da un componente all'altro, dipende dalla grandezza dei componenti (dai valori di capacità e di induttanza): valori bassi portano ad oscillazioni molto frequenti e viceversa. Nell'ipotesi di idealità dei due componenti, cioè componenti che si scambiano energia senza dissiparne una parte, le oscillazioni permangono all'infinito mantenendo la stessa ampiezza delle grandezze elettriche, tensione e corrente.

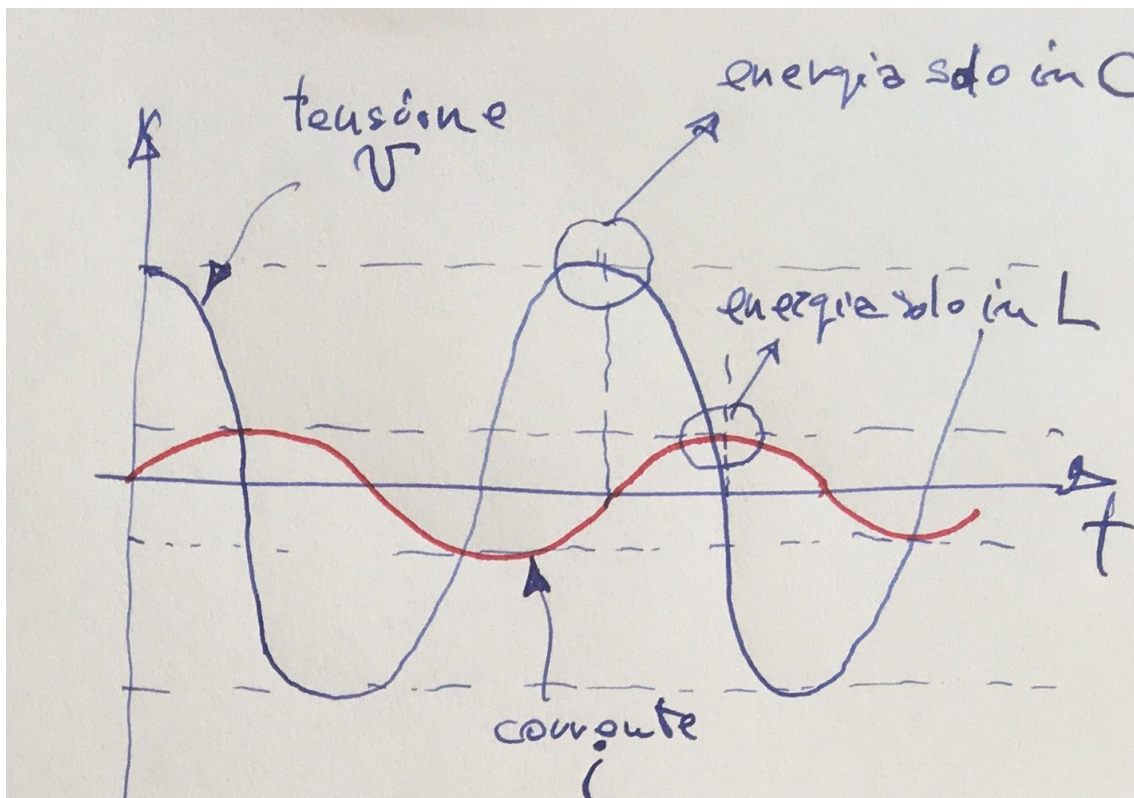


Figura 1.3.2

La riduzione dell'ampiezza delle oscillazioni è quindi strettamente legata a una "estrazione" di energia dal circuito, durante i cicli di trasferimento da un componente all'altro. L'estrazione può avvenire per "dissipazione" dell'energia: se si collega in serie al condensatore e all'induttore anche un resistore (fig. 1.3.3), cioè un componente circuitale che non è in grado di immagazzinare energia, ma che sottoposto a una tensione ovvero attraversato da una corrente dissipa energia producendo calore, il trasferimento ciclico di energia fra condensatore e induttore interessa anche il resistore, che ad ogni scambio di energia ne estrae una parte dissipandola in calore. La conseguenza è che nelle oscillazioni susseguenti l'energia in gioco scambiata decresce,

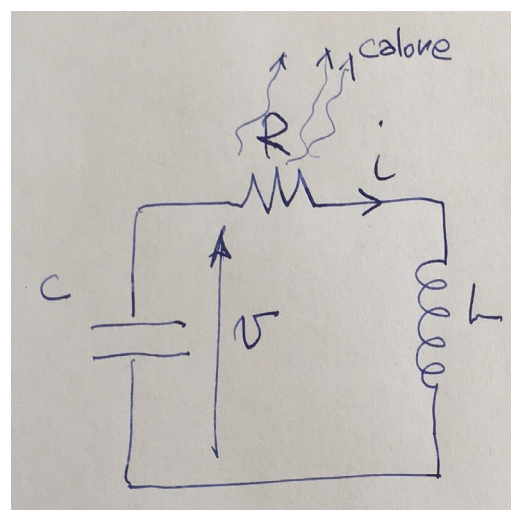


Figura 1.3.3

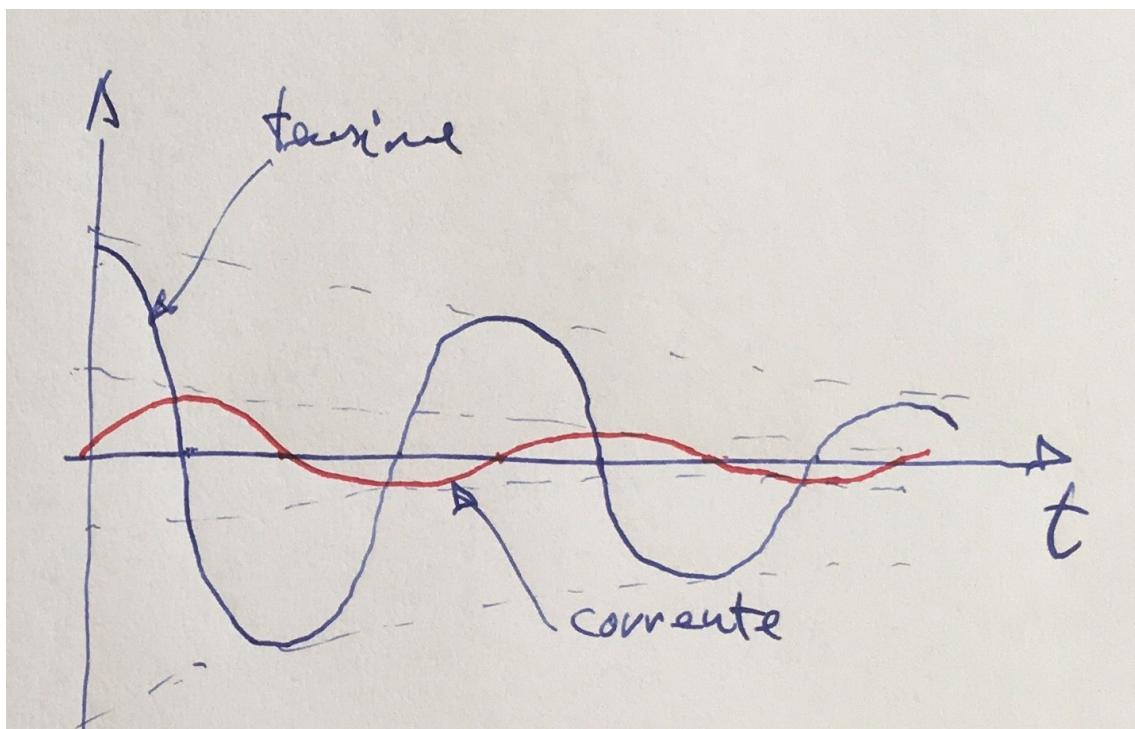


Figura 1.3.4

con riduzione dell'ampiezza delle oscillazioni di tensione e corrente (fig. 1.3.4) fino alla definitiva estinzione di esse (tutta l'energia inizialmente immessa nel circuito è stata dissipata in calore dal componente resistivo).

L'estrazione di energia dal circuito può essere affidata anche a un componente non dissipativo, cioè può essere trasformata in un'altra forma di energia anziché calore: se in serie al condensatore e all'induttore viene collegato per esempio un motore elettrico (fig. 1.3.5), la circolazione in esso della corrente generata dagli scambi di energia fra condensatore e induttore dà luogo a una conversione dell'energia rendendola disponibile come energia meccanica all'albero del motore e utilizzabile in altri processi. Le oscillazioni anche in questo caso si riducono progressivamente fino all'estinzione; l'energia iniziale immessa nel circuito non viene dissipata in calore, ma convertita in energia meccanica.

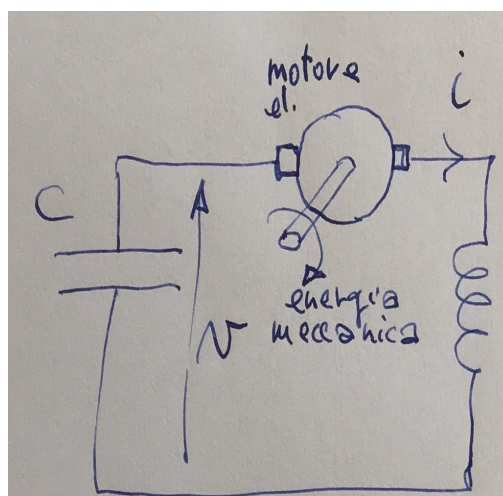


Figura 1.3.3

1.4 Dinamica dell'Ingegneria delle acque

Francesco Napolitano, Elena Ridolfi

Nell'ambito dell'Ingegneria delle acque in un territorio, i maggiori problemi riguardano:

- il fabbisogno idrico e il soddisfacimento della domanda tramite la realizzazione di opportune infrastrutture;
- la gestione del rischio idraulico sul territorio.

Da sempre, all'aumentare della popolazione sul territorio, con la conseguente ricerca di occupazione e di benessere, e con il progredire delle attività industriali, commerciali, agricole, crescono le attività "idroesigenti". La crescita demografica urbana comporta un aumento della domanda idrica e dunque dei consumi. Aumentano non solo i consumi individuali, ma anche quelli delle imprese e delle industrie che sorgono per soddisfare la crescente domanda di beni e servizi; la crescente offerta comporta una crescente domanda, e si instaura così un loop di domanda-offerta idrica.

Tale loop fa riferimento, dunque, a una situazione in cui l'aumento della fornitura di acqua permette l'espansione agricola, industriale e urbana, risultando, dunque, in un aumento dei consumi idrici che a loro volta necessitano di un aumento delle forniture e viceversa. Questa nuova condizione comporta la necessità di una pianificazione su larga scala per il soddisfacimento di detti consumi. Così sono nate le grandi dighe per l'invaso e la distribuzione dell'acqua: il volume di risorsa idrica, disponibile alle diverse fonti e con la relativa disponibilità temporale, deve poter soddisfare la domanda su richiesta e con un'altra disponibilità temporale (banalmente: l'acqua per irrigare serve in estate quando non piove e quando piove, in inverno, non serve ma va invasata e conservata).

Si pensi, ad esempio, alle dighe sorte nelle prossimità di Melbourne in Australia aventi una capacità totale di 1.812 miliardi di litri di acqua e progettate per soddisfare una domanda idrica in continuo aumento; o al sistema di approvvigionamento idrico del Capo Occidentale, in Africa, formato da 6 dighe principali e da diverse altre dighe minori che forniscono acqua a Città del Capo. Le sei dighe hanno una capacità totale di 898.221 miliardi di litri, circa il 99.6% del totale dell'acqua presente in tutti gli invasi, compresi quelli minori. Si pensi ancora al sistema del Cantareira in America Latina, che fornisce acqua a circa 8.8 milioni di abitanti, soddisfacendo circa il 60% della domanda idrica nella regione metropolitana di San Paolo in Brasile.

Invasi spettacolari e massivi, aventi il chiaro obiettivo di assicurare acqua alle regioni per cui sono stati costruiti. In molti casi, l'aumento della disponibilità idrica, comporta un aumento dei consumi, in un loop continuo. In analogia con la visione di un PIL che aumenta all'aumentare dei consumi, in seguito alla crescita della ricchezza e del benessere. Questo ciclo che si rinforza nel tempo in modo positivo può essere arrestato precipitosamente da un evento avverso, ovvero da un periodo di recessione.

Questi eventi avversi, in termini di governo delle risorse idriche, possono avvenire sia su base naturale sia su base antropica.

Eventi naturali possono essere il manifestarsi di eventi siccitosi e l'insorgere di calamità naturali (terremoti, inondazioni, frane), eventi antropici possono essere la contaminazione di una fonte di approvvigionamento, il malfunzionamento e/o la rottura, anche dolosa, di impianti o parti di essi.

La recessione può essere considerata come un periodo naturale di siccità: un periodo, cioè, in cui vi è una scarsità della risorsa idrica che impone un rallentamento dei consumi e il ripensamento dell'uso della risorsa in modo più efficiente. In questi casi è necessario aumentare la resilienza, cioè la capacità di adattamento del sistema per superare il periodo di criticità.

I paesi più industrializzati e ad alto reddito sono passati da un'era in cui si affrontavano le crisi idriche costruendo nuove dighe a un'era in cui si applicano approcci di tipo "soft", che vanno a complementare le grandi strutture esistenti con sistemi a basso costo a scala di comunità urbana o rurale, come ad esempio l'introduzione di tecnologie che mirano all'efficientamento dell'uso idrico e alla protezione dell'ambiente.

Il caso della città di Melbourne è rappresentativo nel suo genere. Melbourne è la seconda città per popolazione in Australia e fu protagonista nella seconda metà dell'Ottocento della cosiddetta corsa all'oro, vedendo così aumentare vertiginosamente in breve tempo la propria popolazione. Negli anni '20 venne dato vita a un programma su larga scala per soddisfare la domanda idrica crescente e successivamente, quando vennero completati i primi tre invasi, di Maroondah, di O'Shannassy e di Silvan, si passò da una capacità di 30.000 milioni di litri a 104.500 milioni di litri. Un

periodo siccitoso tra il 1937 e il 1945 e la crescita demografica dovuta alla fine della seconda guerra mondiale portarono alla progettazione e alla costruzione dell'invaso dell'Upper Yarra che andava ad aumentare l'invaso totale di 3 volte. Lo stesso accadde negli anni '80, quando venne costruito l'invaso di Thompson che doveva rendere "a prova di siccità" la città di Melbourne e che andava ad aumentare la capacità totale del 250%. Era un'era in cui, per affrontare una crisi idrica, si decideva di costruire una nuova grande opera.

Le cose cambiarono durante la cosiddetta "siccità del Millennio" (la *Millennium drought*) perché occorsa dal 2001 al 2009. Fu la più grave siccità mai registrata fino ad allora. Anche questo grave evento, come i precedenti, può essere visto come una brusca e grave recessione in cui aumenta povertà e disoccupazione, durante la quale vengono dismesse alcune industrie e si registrano gravi perdite nel settore agricolo. Si attesta, ad esempio, che le perdite di produzione agricola lorda superarono i 5 miliardi di dollari australiani solamente dal 2006 al 2007 e che 6.000 posti di lavoro vennero persi. Anche da un punto di vista psicologico il periodo portò numerose vittime: ad esempio gli agricoltori soffrirono sempre più di depressione e di esaurimenti. Il parallelismo con un periodo di recessione, anche se dovuto a cause diverse da quelle descritte, è tristemente immediato.

L'approccio che venne adottato fu nuovo rispetto ai precedenti.

La città di Melbourne, che contava allora 4.3 milioni di abitanti, venne forzata a trovare dei modi innovativi per aumentare l'approvvigionamento, come ad esempio l'uso di impianti di desalinizzazione e di riciclo dell'acqua per supportare l'agricoltura, e allo stesso tempo per diminuire la domanda. La riduzione della domanda venne attuata mediante programmi conservativi nelle aree residenziali e industriali. Nella città metropolitana di Melbourne venne imposta una soglia massima di consumo di 150 litri al giorno pro capite, noto come "target 150". Per avere un'idea del quantitativo, per effettuare una doccia di 5 minuti servono tra i 75 e i 90 litri, mentre per un bagno sono necessari fino a 160 litri. Le restrizioni comportarono il divieto di attività di consumo come, ad esempio, il lavaggio delle auto e vennero promosse delle tecniche per l'uso efficiente delle risorse. Questo permise, nonostante la grave carenza, di non arrivare al materializzarsi del temibile e terribile spettro del "Day Zero", il giorno in cui la risorsa sarebbe effettivamente esaurita, ma consentì di traghettare la regione fino al termine della crisi.

Oggi, al termine della crisi, le politiche di conservazione sono state mantenute. Seppur con ingentissime perdite, la grave siccità degli inizi del nuovo millennio ha fornito a Melbourne quella che è stata vista come un'opportunità per sviluppare e implementare un approccio più integrato ed efficiente della gestione della risorsa idrica. Molte delle innovazioni tecnologiche, come il collettamento e l'uso dell'acqua di pioggia, continueranno ad aumentare la resilienza di una città che molto spesso viene messa a dura prova da eventi siccitosi.

Allo stesso modo, i periodi di recessione mettono a dura prova il sistema e in particolar modo le persone che si trovano ad affrontare una crisi le cui perdite e le implicazioni si rivelano spesso gravi.

È necessario dunque attivare delle strategie di resilienza e di sviluppo a livello di Paese per poter superare la crisi e per far rifiorire nuovamente l'economia che permetterà di far risalire gli indicatori.

Per quanto riguarda la gestione del rischio idraulico sul territorio, definito, come noto, dal prodotto della pericolosità naturale (la probabilità che un evento naturale di assegnata severità possa verificarsi) e dal danno, a sua volta prodotto del valore esposto (popolazione esposta, attività produttive, infrastrutture, beni ambientali, storico-monumentali, ecc.) con la sua vulnerabilità, l'analogia con le dinamiche del PIL è suggestiva.

Quando si verifica un evento di inondazione in un bacino idrografico, in relazione alla sua dimensione ed al suo grado di esposizione al rischio, i danni possono essere ingenti e occorre gestire e pianificare le diverse attività sia in fase preventiva sia in fase emergenziale. Dal punto di vista mediatico scende dal cielo la così detta "bomba d'acqua", evocando così una sorta di fatalità sull'origine dell'evento e di "impotenza" da parte degli amministratori e pianificatori. Non è e non deve essere così.

Gli eventi pluviometrici intensi, in termini di intensità e durata, da sempre possono mettere in crisi idrologica i bacini fluviali (in futuro la probabilità che ciò possa accadere potrebbe aumentare per gli effetti dei cambiamenti climatici), che in condizioni ordinarie possono smaltire in sicurezza solo i volumi d'acqua di pioggia in relazione alle proprie condizioni di officiosità idraulica della rete fluviale ed al grado di infrastrutturazione delle opere di difesa del rischio idraulico realizzate (arginature, invasi di laminazione, opere di protezione idraulica del territorio, ecc).

Occorre quindi implementare una strategia efficiente di mitigazione fatta da misure strutturali (opere di difesa) e misure non strutturali (misure regolamentari, piani di protezione civile, ristori assicurativi).

Più un territorio è a rischio, per il suo valore esposto, maggiore è l'esigenza di proteggerlo, maggiore è il bisogno sociale di investire e realizzare opere strutturali, ma queste costano tanto e hanno tempi di realizzazione troppo lunghi, e mostrano benefici solo per eventi particolarmente intensi per i quali sono dimensionati, con frequenze di accadimento rare. La scelta ricade spesso nel fare pochi interventi "tamponi" e prendere alcune misure non strutturali (costano meno e sono implementabili in tempi più brevi) sebbene abbiano ancora un'efficienza limitata.

Il risultato è perverso: il territorio si sente "più sicuro" e si sviluppa ulteriormente, aumentando così il valore esposto e incrementando il rischio idraulico, gli amministratori si appellano alla "fatalità" dell'origine, alla mancanza di risorse adeguate e intervengono in "emergenza" mostrando empatia con la popolazione colpita, spendendo però molto di più e senza risolvere sostanzialmente il problema che si presenterà nuovamente.

Si deve, invece, acquisire la consapevolezza che, in un'ottica di medio-lungo periodo, conviene economicamente e socialmente molto di più adottare strategie di mitigazione di tipo strutturale che riducano realmente il rischio per generare cicli virtuosi di sviluppo, invece di affidarsi alla sola gestione delle emergenze e ai ristori conseguenti.

Cercare di "governare i processi" e "non farsi governare da essi" dovrebbe essere la regola per gestire il rischio idraulico sul territorio così come dovrebbe esserlo per tutte le scelte di sistema connesse alle diverse transizioni energetiche, industriali, ambientali cui nei prossimi anni il nostro Paese dovrà confrontarsi.

1.5 Comportamento oscillatorio nei reattori chimici

Maria Cristina Annesini, Nicola Verdone

Nel campo dell'ingegneria delle reazioni chimiche, un tipico esempio di comportamento oscillatorio riguarda la dinamica di un reattore perfettamente mescolato (CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor).

Per un'analisi semplificata del fenomeno dinamico, è necessario partire dalla descrizione dei comportamenti che si possono manifestare già nelle condizioni di stato stazionario. In questo caso, considerando una semplice reazione irreversibile $A \rightarrow B$ che avvenga in fase liquida, l'accoppiamento del bilancio di materia con il bilancio di energia potrebbe dar luogo a comportamenti sorprendentemente complessi, perfino considerando esclusivamente le soluzioni che possono essere ottenute allo stato stazionario, risolvendo le equazioni che descrivono i due bilanci.

Potrà avvenire, infatti, che la soluzione non preveda un singolo stato stazionario nel comportamento del reattore. Al contrario, anche per i meccanismi cinetici più semplici, possono essere previsti almeno tre soluzioni di stato stazionario. Questo fenomeno è noto come molteplicità degli stati stazionari.

Nel caso considerato, si riporta in Figura 1.5.1 a titolo di esempio l'insieme delle soluzioni dei bilanci di materia e di energia accoppiati in termini di conversione (x) al variare del tempo di permanenza nel reattore (τ) calcolato come rapporto tra il volume di reazione e la portata volumetrica di

alimentazione, considerando come parametro la tonalità termica della reazione (ΔH_R), cioè il calore svolto o assorbito dalla reazione (rispettivamente nel caso di reazioni esotermiche o endotermiche).

Dalla figura si può notare come nel caso in cui la reazione svolga un calore superiore ai -10 kJ/kmole, esiste un intervallo di tempi di residenza in cui non si possa identificare un singolo stato stazionario di funzionamento, piuttosto tre soluzioni (i punti indicati in colore blu in corrispondenza a un tempo di permanenza pari a 10 min.). Nella figura sono anche indicati due punti in colore rosso, definiti punto di ignizione in basso e punto di estinzione in alto.

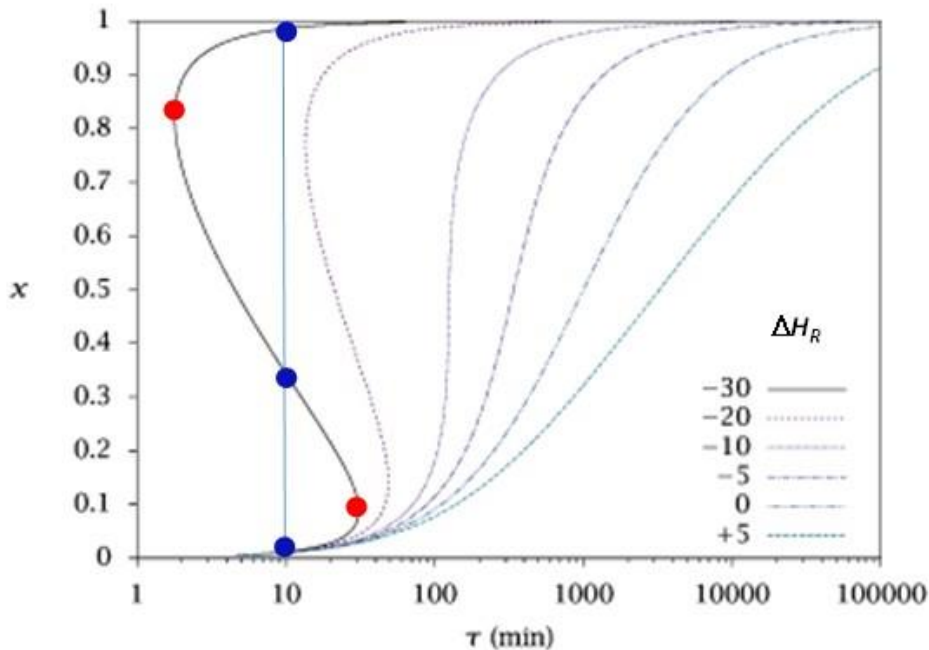


Figura 1.5.1 Conversione allo stato stazionario in funzione del tempo di residenza per diversi valori del calore di reazione.

Se si considera un valore piccolo del tempo di residenza, 10 min nell'esempio, se la portata in alimentazione venisse diminuita di poco, determinando un incremento di τ , si verificherebbe un piccolo disturbo nel comportamento del reattore che comporterebbe un incremento della conversione (il punto blu più in basso si sposterebbe lungo la curva verso destra verso il punto di ignizione).

Se si considera, ora, il comportamento a partire dal punto di ignizione (identificato in questo esempio dalle coordinate $\tau = 30.9$ min e $x = 0.09$), una piccola diminuzione della portata di alimentazione non troverebbe un nuovo valore di stato stazionario per la conversione. Si verificherebbe, al contrario, un importante rilascio di calore, il reattore si scalderebbe e la conversione raggiungerebbe valori prossimi al valore unitario.

Se invece il reattore fosse operato in prossimità del punto di estinzione, si verificherebbe un fenomeno contrario. Un piccolo incremento della portata di alimentazione ridurrebbe il tempo di residenza, diminuzione sufficiente a non poter identificare alcuna soluzione di stato stazionario. In questo caso si verificherebbe un raffreddamento del reattore e quindi una rapida diminuzione della temperatura e della conversione quando il reattore si portasse al nuovo stato stazionario.

È necessario comprendere ora il motivo per cui alcuni stati stazionari di funzionamento sono stabili, mentre altri sono instabili.

Il modello dinamico del reattore comprende due termini, un primo che descrive il rilascio di calore dovuto alla reazione e un secondo termine che descrive la rimozione del calore dal sistema. Il contributo dei due termini è descritto nel diagramma di Van Heerden riportato in Figura 1.5.2 per un tempo di residenza ridotto.

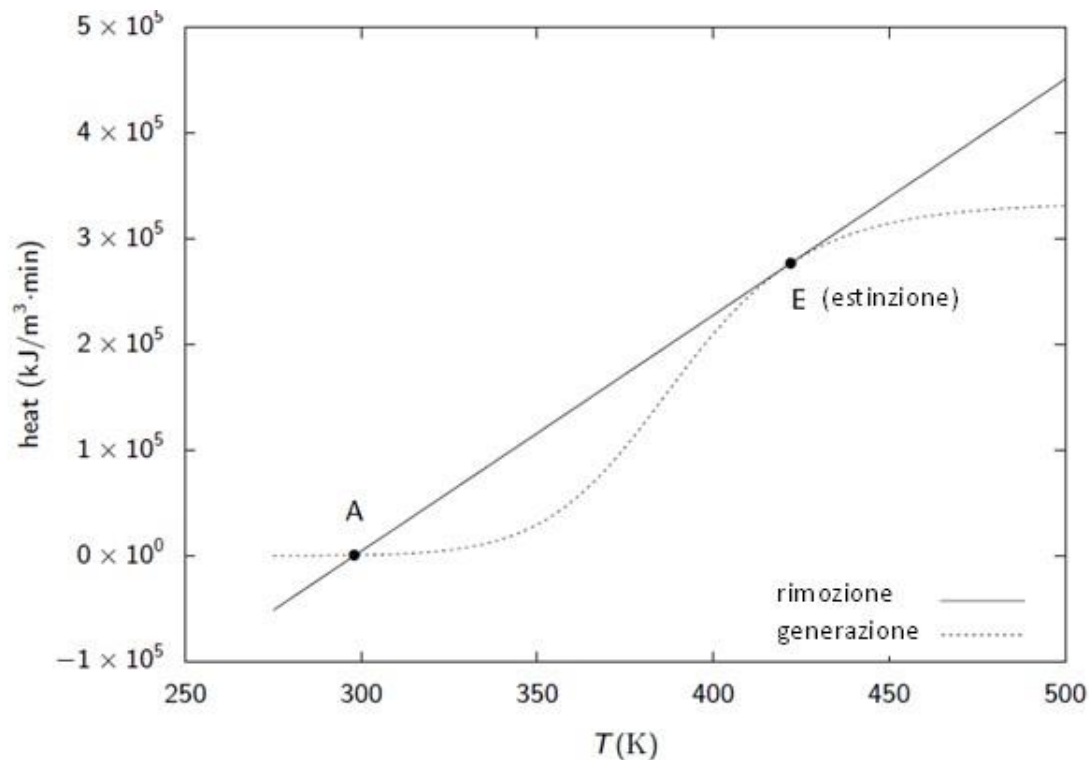


Figura 1.5.2 Tassi di rimozione e generazione del calore per un tempo di residenza $\tau = 2$.

Il tasso di rimozione del calore è rappresentato da una retta con un determinato coefficiente angolare, inversamente proporzionale al tempo di residenza, mentre il tasso di generazione del calore è rappresentato da una funzione non lineare.

È ovvio che allo stato stazionario il tasso di rimozione è pari al tasso di generazione. Quindi gli stati stazionari sono rappresentati dalle intersezioni della retta con la curva. Nella figura si possono notare due punti di intersezione che corrispondono agli stati stazionari A ed E.

Se si riduce il tempo di residenza, l'inclinazione della retta che rappresenta il tasso di rimozione del calore aumenta e l'intersezione che corrisponde al punto A si sposta leggermente. Poiché però le due curve sono tangenti in corrispondenza del punto E, la soluzione in corrispondenza di questo punto sparisce, un ulteriore indicatore che il punto E è un punto di estinzione.

Se si incrementasse di poco la temperatura del reattore, ci si troverebbe alla destra del punto A, dove il tasso di rimozione del calore è maggiore del tasso di generazione. Ciò comporta il raffreddamento del reattore, che muove la temperatura all'indietro verso sinistra. In altre parole, il sistema risponde resistendo alla perturbazione applicata. In maniera simile, considerando una diminuzione della temperatura del reattore, alla sinistra del punto A, il tasso di generazione del calore è maggiore del tasso di rimozione, determinando un riscaldamento del reattore e uno spostamento del punto di funzionamento all'indietro verso destra.

Il punto A è quindi un punto di funzionamento stabile, poiché piccole perturbazioni sono rigettate dal sistema.

Se si considera ora il comportamento del sistema in corrispondenza a un tempo di residenza intermedio, ci può riferire alla Figura 1.5.3.

I punti B e F sono stabili, come lo era il punto A nella Figura 1.5.2. In corrispondenza del punto D, tuttavia, un incremento di temperatura determina una generazione di calore maggiore della rimozione, la diminuzione della temperatura, viceversa, provoca una generazione di calore inferiore

al tasso di rimozione. Entrambe queste perturbazioni sono amplificate dal sistema che si trova nel punto D, determinando una soluzione instabile.

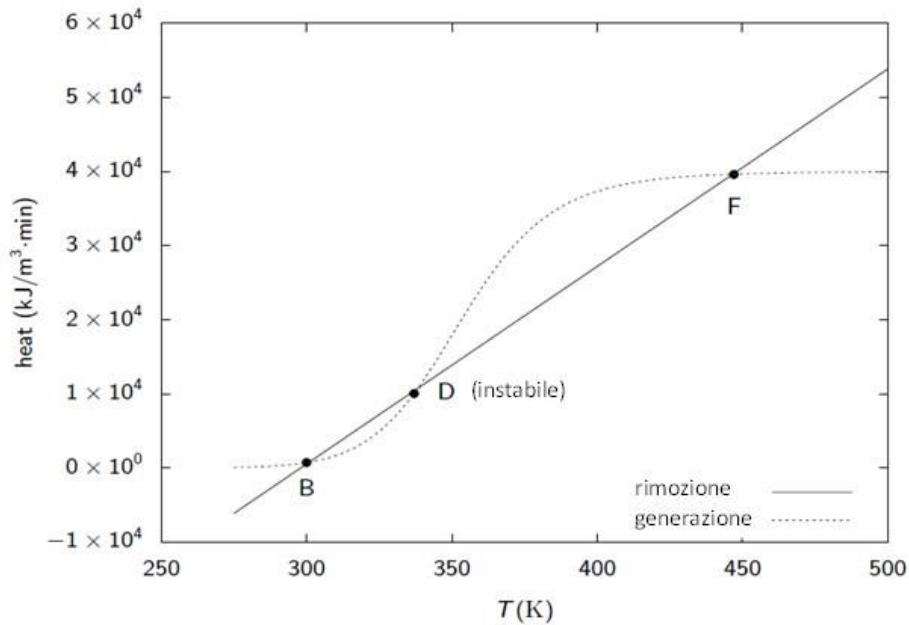


Figura 1.5.3 Tassi di rimozione e generazione del calore per un tempo di residenza $\tau = 15$.

All'ulteriore incremento del tempo di residenza, si ottiene la situazione descritta nella Figura 1.5.4.

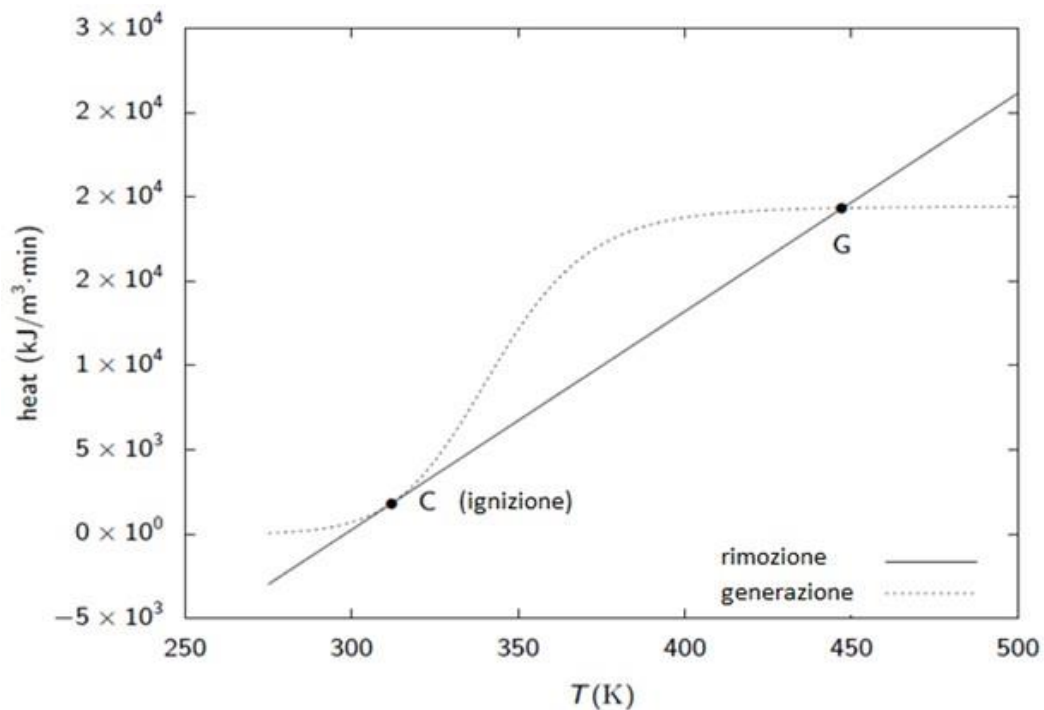


Figura 1.5.4 Tassi di rimozione e generazione del calore per un tempo di residenza $\tau = 30$.

In questo caso, la medesima analisi svolta nei casi precedenti dimostra che il punto G è un punto di funzionamento stabile. Viceversa, il punto C, il punto di ignizione, è simile al punto di estinzione

E in Figura 1.5.2: le perturbazioni in una direzione sono rigettate, mentre nella direzione opposta sono amplificate.

Il comportamento dinamico del CSTR può essere più complesso rispetto a quanto rappresentato dagli stati stazionari multipli. Infatti, per un determinato insieme di condizioni operative, tutti gli stati stazionari possono rivelarsi instabili e il reattore può mostrare comportamenti oscillatori.

Immaginiamo che l'energia di attivazione della reazione sia significativamente maggiore rispetto a quella considerata nell'elaborazione dei risultati riportati in Figura 1.5.1. La soluzione delle equazioni di bilancio di materia e di energia portano ora alla definizione delle soluzioni di stato stazionario mostrate in Figura 1.5.5.

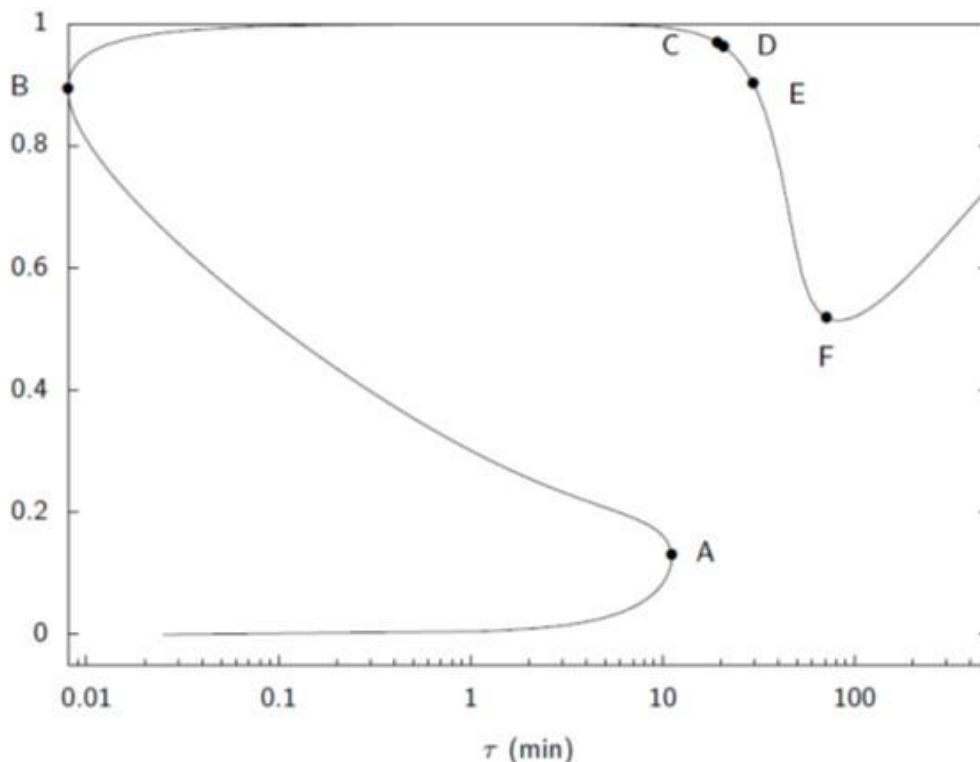


Figura 1.5.5 Conversione allo stato stazionario in funzione del tempo di residenza.

Si nota immediatamente che la curva delle soluzioni relative agli stati stazionari si è deformata rispetto alle curve in forma di sigmoide mostrate in Figura 1.5.1. Si nota che per un tempo di residenza $\tau = 35$ min, lo stato stazionario si trova compreso tra i punti E e F. Risolvendo i bilanci dinamici di materia e di energia in corrispondenza a questo valore del tempo di residenza si ottengono i risultati riportati nella Figura 1.5.6.

Le soluzioni, dunque, non approssimano lo stato stazionario, ma oscillano in continuo. Queste oscillazioni sono sostenute, cioè non si smorzano nel lungo periodo. Inoltre, l'ampiezza delle oscillazioni è grande in questo esempio: più di 80 K per la temperatura e circa il 50% per la conversione.

Si possono ottenere ulteriori evidenze del comportamento del reattore dal grafico che descrive la conversione in funzione della temperatura, riportato in Figura 1.5.7 e noto come piano delle fasi

In questo diagramma il tempo aumenta spostandosi lungo le curve. Il reattore si scalda, quindi lentamente si raffredda, si scalda di nuovo e alla fine entra nel ciclo limite stazionario mostrato in figura

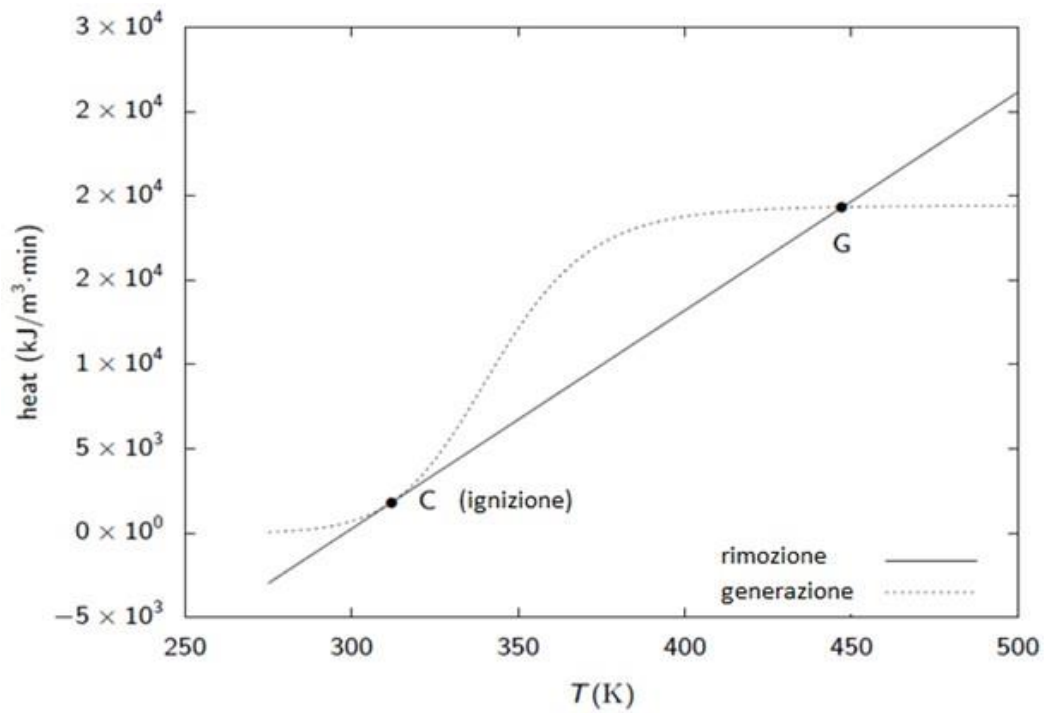


Figura 1.5.6 Conversione e temperatura in funzione del tempo per un tempo di residenza $\tau = 35$ min.

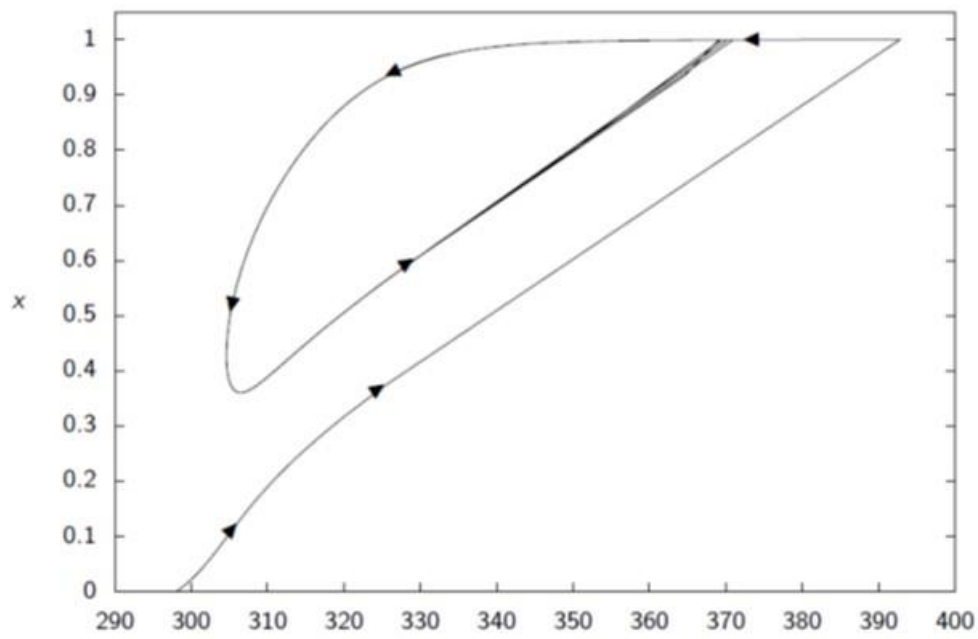


Figura 1.5.6 Conversione e temperatura in funzione del tempo per un tempo di residenza $\tau = 35$ min.

1.6 La via al caos delle subarmoniche

Adriano Alippi

È ben noto l'aforisma già usato da E.N. Lorenz in una storica conferenza del 1972 per descrivere come l'evoluzione di un sistema complesso possa dipendere in maniera imprevedibile da variazioni infinitesime delle condizioni iniziali: il battito d'ali di una farfalla in Brasile sconvolge il clima nell'area del Texas. La verità di questa espressione è assai più estesa di quanto da essa possa semplicemente dedursi per la meteorologia e si verifica in un gran numero di fenomeni naturali, economici, sociali, come si può bene intuire guardando i giochi d'acqua nello scorrere di un ruscello tra le rocce, la caduta disordinata di una foglia dall'albero, il muoversi a scatti di un branco di pesci ecc. L'evoluzione apparentemente casuale e sicuramente complessa di questa serie di fenomeni non è da attribuirsi alla numerosità delle equazioni che li governano, superabile mediante l'uso di appropriati sistemi di calcolo, ma piuttosto alla natura intrinseca dei fenomeni elementari che ne sono alla base. Né la distribuzione statistica può aiutarci nell'individuare la risposta del sistema: gli eventi estremi sono certo ammessi dalle leggi della probabilità, ma nulla si può dire su quando e come possano aver luogo: non si prevede il giorno del terremoto né il crollo dei titoli in borsa. L'imprevedibilità dell'evoluzione nasce dalla natura intrinsecamente non lineare della legge che governa il singolo fenomeno e che conduce direttamente a quello stato del sistema che con termine evocativo si chiama caos. Una variazione infinitesima – quindi, sperimentalmente non rilevabile – dei valori delle grandezze nelle condizioni così dette iniziali, conduce inevitabilmente a punti di biforcazione in cui il sistema può evolvere in modi assolutamente diversi.

In principio era il caos, recita il libro della Genesi, in accordo con le mitologie di più di un popolo; le leggi naturali, in realtà, porterebbero a dire: *alla fine ci sarà il caos*.

In quel che segue si vorrà mostrare come la presenza di non linearità nella dinamica di un sistema pur elementare porti necessariamente allo sviluppo di un comportamento caotico, che è deterministico nella sua natura, ma assolutamente non prevedibile. E tale imprevedibilità non è da confondersi con l'indeterminatezza propria dei sistemi microscopici, come sono descritti dalla meccanica quantistica, per i quali la conoscenza di una grandezza fisica implica necessariamente un intervento indeterminato su un'altra grandezza fisica, a quella necessariamente coordinata. Lo sviluppo caotico di un sistema è assolutamente deterministico, cioè teoricamente prevedibile, ma anche e tuttavia praticamente e assolutamente imprevedibile: la sua conoscenza richiederebbe contestualmente di conoscere con precisione infinita i dati del sistema! Anche per sistemi relativamente semplici esistono valori delle condizioni iniziali e dei parametri che caratterizzano il moto, per i quali si verifica un'estrema dipendenza del comportamento a lungo termine del sistema dalle condizioni iniziali; piccole differenze tra due stati inizialmente vicini vengono amplificate fino a divenire dello stesso ordine di grandezza dei valori assunti dalle variabili del sistema e, quindi, a interferire con il suo comportamento macroscopico.

Un semplice algoritmo matematico bene illustra il fenomeno elementare che porta al caos: se si costruisce una sequenza ovvero una serie di numeri x_n , ciascuno dei quali ottenuto dal precedente semplicemente moltiplicandolo per un fattore λ e sottraendogli il suo quadrato (non linearità!), anch'esso moltiplicato per λ come segue: $x_n = \lambda x_{n-1} (1 - x_{n-1})$, si evidenzia che la serie tende a stabilizzarsi su un termine fisso, cioè fornendo e ripetendo dopo un certo numero di passi sempre lo stesso numero, oppure alternandosi tra due soli numeri, oppure quattro, oppure otto e così via, fino a un'infinità di suddivisioni che rendono la serie finale imprevedibile. La suddivisione tra uno, due, quattro, otto o più termini finali dipende dal valore del parametro λ , cioè dalla grandezza del contributo non lineare: è questo il parametro che decide quale sarà il comportamento di regime del sistema. Si può facilmente verificare che la prima suddivisione, cioè il passaggio da un unico termi-

ne finale a uno sdoppiamento, ha luogo quando λ supera il valore approssimato di 3,449489743. Questo esempio non è soltanto un esercizio matematico, ma può bene descrivere per esempio il tasso di crescita di una popolazione di individui, legata alla presenza di condizioni di sopravvivenza (cibo, predatori ecc.), e la numerosità della specie dopo un certo lasso di tempo: in certe condizioni questo numero è unitario, in certe altre può alternarsi nel tempo tra due, quattro o più valori. Di fatto, la sequenza numerica cui si è fatto cenno rappresenta la versione algebrica di un'equazione differenziale di semplice scrittura, che più efficacemente descrive l'evoluzione temporale di una grandezza (numero di individui, valori di mercato, scrosci d'acqua ecc.).

Un secondo esempio di natura fisica può essere portato a migliore illustrazione dei fenomeni caotici, per via della maggiore ricchezza della casistica che descrive: si farà cenno nel seguito alla generazione di frequenze subarmoniche nell'evoluzione di un oscillatore armonico. Moltissimi fenomeni naturali seguono nel tempo un andamento oscillante, dovuto a un meccanismo intrinseco per il quale una determinata grandezza è condizionata da due effetti contrastanti, come nell'esempio classico del pendolo in cui lo spostamento (x) verso la condizione di riposo verticale è determinata da una forza (il peso, nella fattispecie) che contrasta l'effetto d'inerzia della massa oscillante, che prevede il mantenimento del moto. È noto che il risultato è un continuo andare e venire attorno alla condizione di equilibrio che, se non c'è un termine aggiuntivo di dissipazione, continuerà in eterno. Il sistema si mantiene su una frequenza propria, quella della risonanza del sistema. Si scrive così una facile equazione differenziale (esatta per una massa trattenuta da una molla, solo approssimata nel caso del pendolo), dove la grandezza oscillante x , incognita del problema, è lo spostamento dalla condizione di equilibrio $x = 0$:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} - kx = 0$$

Se in questa equazione si aggiungesse un termine, sia pure piccolo, non lineare nella grandezza x , per es. Cx^2 , l'oscillazione del pendolo varierebbe di poco introducendo delle frequenze armoniche, cioè di frequenza doppia o tripla di quella propria, tanto maggiori in ampiezza quanto più grande è il termine non lineare. Non è questa, tuttavia, l'origine del comportamento caotico; questo si instaura solo se, casualmente, per effetto di una qualunque sia pur minima perturbazione (il battito d'ali della farfalla!), nascesse nel sistema oscillante, altrettanto infinitesima nell'ampiezza, una subarmonica, cioè un'oscillazione di frequenza metà di quella propria. Se il valore dell'ampiezza della frequenza propria, in virtù dell'ampiezza della causa eccitatrice, supera un certo valore di soglia, questa nuova frequenza subarmonica, mettendosi a prodotto con quella propria in virtù del termine non lineare – che prevede, appunto, la moltiplicazione –, può sostenersi e amplificarsi e quindi palesarsi con ampiezza finita, cioè sufficientemente grande. In queste condizioni, a ogni oscillazione intera della frequenza propria, si accompagna una perturbazione che si ripete ogni due periodi, dando origine quindi a un moto sdoppiato del sistema. È facile immaginarsi che questo fenomeno si possa riproporre tra la subarmonica già generata e la subarmonica di questa, che avrà una frequenza pari a un quarto della fondamentale. Si origina così una perturbazione che si ripete ogni quattro periodi della fondamentale e poi ogni otto, sedici e così via. Si è aperta la strada verso un numero infinito di suddivisioni, oltre il quale il moto oscillatorio è assolutamente imprevedibile. Si parla di una via al caos delle subarmoniche. Occorre rilevare e mettere in chiara evidenza che l'evento caotico è un meccanismo a soglia, cioè che l'ampiezza (quindi, l'energia) dell'oscillazione fondamentale deve superare un determinato valore perché si possa innescare l'effetto di crescita, inizialmente della prima, e successivamente di tutte le altre, onde subarmoniche.

Ci si è soffermati con un minimo di dettaglio su questo caso e su questa equazione, perché descrive un fenomeno del tutto generale, dovuto al fatto che il meccanismo dell'oscillazione è esso stesso del tutto generale. Non oscillano solo masse e molle, ma moltissimi sistemi meccanici ed elettromagnetici: strumenti musicali, strutture complesse artificiali e naturali, sistemi astrofisici,

antenne, ricevitori ecc. Il così detto terzo suono o suono di Tartini, musicista all'inizio del XVIII secolo, è un primo esempio noto di suono subarmonico che si origina negli strumenti musicali, ma è a tutti noto che se su una strada leggermente sconnessa si va un po' veloci su una macchina un po' datata è facile che si inneschino vibrazioni non volute dei vetri ai finestrini, per es., o di semplici oggetti mal posti: alcune vibrazioni creano una catena di oscillazioni subarmoniche, responsabili del rumore. Ma, ancora di più, una qualche corrispondenza di questa via al caos – qui descritta nei termini minimali del fenomeno – si può certo ritrovare in eventi assai più complessi, psicologici, sociali o economici. Le reazioni del nostro sistema a eventi esterni possono ben essere condizionate da una risposta non lineare alle cause, le reazioni delle classi sociali a normative o condizioni coercitive di vario genere, la risposta dei mercati a operazioni avventurose costituiscono cause di oscillazioni non completamente osservabili, ma prodrome di un'evoluzione caotica, imprevedibile dei sistemi.

1.7 Shock dinamico in strutture

Biagio Carboni, Sandra Carillo, Walter Lacarbonara

Edifici, ponti, strade, impianti industriali e strutture in senso lato possono essere soggetti a fenomeni di improvviso shock dinamico come i terremoti, le esplosioni o le raffiche di vento di durata tanto variabile quanto imprevedibile. Quando la terra trema rilasciando enormi quantità di energia immagazzinate nella crosta terrestre o quando si verifica un'esplosione da fuga di gas o sopraggiungono raffiche di vento intense e improvvise, come è sempre più frequente per l'intensificarsi dei fenomeni meteorologici estremi, le strutture investite dallo shock rispondono in modo oscillatorio e complesso. I primi cicli del movimento oscillatorio sono generalmente più elevati e spesso sono amplificati dal fenomeno della risonanza quando il tremore della terra o le fluttuazioni delle raffiche di vento avvengono con una ciclicità prossima a quella secondo cui la struttura investita oscillerebbe se venisse deformata lentamente e poi lasciata libera di vibrare. Nella fase di risposta ciclica, le strutture possono subire ingenti danni o addirittura collassare a causa dell'incapacità di contenere l'enorme energia trasferita che viene trasformata in maniera graduale o repentina in un'eccessiva energia di deformazione. Se, al contrario, tali strutture sono sufficientemente resilienti e capaci di dissipare energia in maniera opportuna, queste possono continuare ad oscillare con ampiezze via via decrescenti fino a raggiungere la quiete o, nel caso in cui l'azione si protragga per molto tempo, approdare alla cosiddetta condizione di stazionarietà in risonanza caratterizzata da un bilancio periodico tra l'energia immessa e l'energia dissipata. La risonanza è un fenomeno pervasivo in natura che porta ad un'amplificazione dinamica vistosa degli effetti di un input esterno quando questo è ripetitivo e si ripete con un periodo "vicino" a quello proprio del sistema. Tutti apprezzano la risonanza quando, spingendo un bimbo su un'altalena, osservano che l'ampiezza dell'oscillazione cresce in modo divertente soltanto se si spinge con la stessa periodicità con cui l'altalena raggiunge i massimi angoli di oscillazione.

Le amplificazioni dinamiche diventano più complesse quando sono associate alle non linearità della risposta di una struttura o di un sistema dinamico più generale (a riguardo è intuitivo comprendere come un sistema economico sia fortemente non lineare per le complesse relazioni tra input e output) la cui importanza è in stretta correlazione con la quantità di energia immessa (Lacarbonara 2013). Le non linearità si manifestano in maniera più o meno accentuata in base alle caratteristiche proprie del sistema meccanico o dinamico, alle sue condizioni di partenza ma soprattutto, come detto, in proporzione all'intensità dell'azione. La risonanza non lineare, a differenza della risonanza lineare, dà origine a fenomeni robusti e inaspettati o, più in generale, difficilmente prevedibili soprattutto quando non sono ben note le caratteristiche del sistema o i suoi cambiamenti nel corso

del processo dinamico. Le risonanze non lineari come le risonanze super- o sub-armoniche sono fenomeni spesso sottovalutati nelle applicazioni benché si possano innescare quando il periodo dell'azione forzante è un multiplo o sottomultiplo del periodo proprio della struttura e possano determinare risposte dinamiche complesse e irregolari con forte dipendenza dalle condizioni iniziali. Altro fenomeno dinamico dagli esiti potenzialmente catastrofici è rappresentato dalla risonanza parametrica che si manifesta tutte le volte che l'azione (input) è moltiplicata per la risposta (output) in modo appunto parametrico. Questo fenomeno si osserva in un pendolo mosso verticalmente su e giù attraverso il suo punto di sospensione se il periodo del movimento è la metà del periodo del pendolo. Il pendolo inizialmente in quiete comincia ad oscillare violentemente nonostante l'azione sia verticale e diretta secondo l'asse del pendolo che è una direzione di equilibrio. Un esempio raro di tale risonanza potrebbe riguardare un grattacielo soggetto ad un'azione sismica sussultoria (verticale) con componente parametrica di periodo opportuno che potrebbe indurre una forte oscillazione laterale della struttura. In tutti questi casi, si possono produrre effetti dinamici importanti ed inaspettati che, se non bilanciati dalle capacità del sistema di dissipare energia, possono portare alla crisi strutturale.

Questi fenomeni sono tanto più complessi quanto maggiori sono i gradi di libertà dei sistemi dinamici e quanto più marcato è il loro comportamento non lineare. Uno scenario in cui le non linearità producono effetti sorprendenti è quello di innesco del fenomeno della risonanza interna – anche noto come risonanza autoparametrica - secondo il quale, benché sia atteso che l'energia immessa con una certa periodicità debba generare un ben definito tipo di risposta dinamica di alcune parti della struttura, la risposta emergente è ben più complessa e coinvolge altre parti della struttura, erroneamente considerate a priori non interagenti con le prime. Il fenomeno è dovuto ad un travaso continuo di energia interna tra i gradi di libertà del sistema. Il famoso collasso del Tacoma Narrows Bridge il 7 Novembre 1940 è stato uno degli eventi che più ha portato la comunità scientifica ad approfondire le conoscenze sulle interazioni che possono avvenire nei sistemi strutturali con spiccate caratteristiche non lineari (Lacarbonara 2013). In questo caso, una raffica di vento che sollecitava il ponte con intensità non periodica, ma via via crescente, ha innescato delle oscillazioni autosostenute determinando il collasso del ponte. Dopo un lungo dibattito scientifico, questo evento che ha segnato il corso dell'Ingegneria dei ponti è stato spiegato come una biforcazione dinamica da *flutter* che ha interessato sia oscillazioni verticali che torsionali, dove l'accoppiamento tra la forzante aerodinamica indotta dal vento e l'oscillazione del sistema da un parte determina un'incapacità della struttura di dissipare l'energia immessa ma addirittura di accrescerla e di distribuirla tra modi diversi (flessione/torsione) in energia cinetica e di deformazione fino al crollo catastrofico.

Un corretto approccio al problema del controllo dell'amplificazione dinamica prevede che la struttura sia concepita per essere capace di dissipare in maniera appropriata l'energia ricevuta e nel migliore dei casi di sfruttarla per altri scopi come si cerca di fare nell'ambito della captazione e trasformazione dell'energia, noto nella letteratura internazionale come *energy harvesting*. Per raggiungere questo obiettivo, si possono adottare diversi metodi che continuano ad evolversi nel corso degli anni. L'approccio classico è quello di dimensionare la struttura in maniera tale che essa possa dissipare internamente l'energia ricevuta trasformandone solo una piccola parte in energia cinetica. Tale approccio è evidente se si guarda all'evoluzione delle costruzioni nel corso della storia, le quali in passato venivano sovradimensionate per resistere sia alle azioni ordinarie che a quelle eccezionali. Il progresso delle conoscenze e della tecnologia in termini di materiali, tecniche costruttive, metodi e capacità di calcolo ha portato ad un continuo affinamento delle caratteristiche strutturali che, per ovvi motivi di carattere economico, devono essere dimensionate in maniera proporzionata rispetto alle azioni attese.

Un approccio moderno, che trova tuttavia in alcune sue accezioni specifiche esempi nel mondo antico, consiste nel trasferire l'energia a materiali, strutture e dispositivi aggiunti facendo in modo

che l'energia cinetica acquisita dalla struttura da proteggere rispetto agli shock sia contenuta oppure facendo in modo che possa essere liberata con un moto rigido tale da non indurre deformazioni nelle componenti strutturali. Un esempio di quest'ultimo approccio, particolarmente utilizzato per la protezione sismica degli edifici, è quello dell'isolamento alla base. Con questa tecnica, la struttura viene resa libera di traslare rispetto al terreno in modo tale che tutte le componenti strutturali si spostino della stessa quantità e non siano quindi soggette a deformazioni interne. L'energia cinetica trasferita alla struttura deve essere comunque limitata per evitare che si raggiunga lo spostamento limite dei dispositivi di isolamento e la struttura sia soggetta a sollecitazioni estreme per la sua integrità. Per tale ragione, i dispositivi di isolamento, oltre a consentire la traslazione relativa della struttura rispetto al suolo, devono garantire un adeguato livello di dissipazione di energia assicurando al contempo che la struttura raggiunga una condizione di quiete nella posizione in cui si trovava prima dell'evento sismico. Il caso dell'isolamento sismico è un perfetto esempio dell'importanza che rivestono le non linearità nel concepire un apparato ingegneristico avanzato. Infatti, il sistema di isolamento, riducendo di fatto la frequenza di oscillazione propria della struttura in prossimità di valori che presentano un rapporto intero (sottomultiplo) con il contenuto in frequenza dell'azione sismica, potrebbe esaltare per risonanza super-armonica l'azione di un terremoto le cui caratteristiche sono considerate apparentemente innocue se si trascurano le caratteristiche non lineari del sistema accoppiato isolatore-struttura.

La filosofia di limitare l'energia cinetica della struttura trova applicazione in diverse tecniche. Una prima consiste nell'inserimento di sottostrutture interne capaci di dissipare l'energia in eccesso anche sacrificando la propria integrità durante l'evento sollecitativo. Un esempio di questa tecnica è rappresentato dalle controventature ad alto smorzamento, le quali concentrano al loro interno la dissipazione dell'energia cinetica trasmessa alla struttura limitandone l'intensità. Un esempio particolarmente interessante è quello degli smorzatori a massa accordata che consistono in masse addizionali opportunamente collegate alla struttura da proteggere. L'energia cinetica viene trasferita a queste masse che, oscillando relativamente alla struttura, applicano su di essa delle forze di richiamo tali da limitarne il moto (Boccamazzo *et al.* 2020). Il corretto funzionamento di questa tipologia di dispositivi dipende principalmente dalle caratteristiche meccaniche della connessione massa-struttura. La tecnologia utilizzata deve essere in grado di dissipare una giusta quantità di energia in modo tale da determinare un equilibrio periodico tra l'energia dissipata e l'energia cinetica delle masse e della struttura. Da un punto di vista concettuale, questa tecnica è sicuramente la più affascinante perché si basa sul raggiungimento di un equilibrio periodico tra due sistemi meccanici e contempla la possibilità di utilizzare l'energia cinetica delle masse oscillanti per altri scopi trasformandola ulteriormente in energia elettrica. Lo stesso fenomeno di trasformazione in energia elettrica, di parte dell'energia cinetica delle masse, può essere visto come la maniera di assicurare la giusta dissipazione dell'elemento di connessione massimizzando l'efficienza generale. Ribaltando il punto di vista si entra nel contesto di ricerca dell'*energy harvesting* che si propone di recuperare e riutilizzare l'energia proveniente da svariate attività antropiche e naturali. Recenti brevetti internazionali sviluppati in ambito Sapienza concretizzano le tecniche descritte sfruttando in maniera innovativa il concetto di non linearità meccanica per massimizzare l'efficacia e l'efficienza delle tecniche di protezione (Vestroni *et al.* 2011, Lacarbonara e Carboni 2014).

Sempre nello spirito di dissipare energia, si possono efficacemente utilizzare “dissipatori” costituiti da materiali viscoelastici innovativi.

Un materiale viscoelastico è caratterizzato da una risposta alla sollecitazione esterna che non dipende solamente dallo stato del sistema, ma anche dalla sua “storia” di deformazione (Carillo *et al.* 2017, Carillo 2015). Il modello è stato introdotto da Maxwell, Boltzmann, e Kelvin nel diciannovesimo secolo per descrivere il comportamento di materiali per i quali la deformazione prodotta non è semplicemente proporzionale all'intensità dell'azione (forza) ad essi applicata. Un'altra

proprietà caratteristica è che, cessata l'azione su di esso, il corpo ritorna nella configurazione iniziale. Il prototipo di materiale elastico è rappresentato dall'*oscillatore armonico* che idealizza una molla priva di attrito, i.e. senza perdita di energia. Il modello di *materiale viscoelastico* descrive il comportamento sforzo-deformazione di una vasta gamma di solidi, cioè tutti quelli il cui comportamento non può essere assimilato a quello dell'*oscillatore armonico*. Tra i numerosi sono inclusi non solo materiali biologici ma anche materiali artificiali quali polimeri sintetici. In tutti questi casi il corpo, rimossa l'azione su di esso, non riassume la stessa configurazione iniziale, ma presenta una *deformazione* residua e, corrispondentemente, si ha una dissipazione di energia: quella utilizzata per produrre tale deformazione. Da un punto di vista matematico, per descrivere il comportamento del materiale viscoelastico si introducono termini che tengono conto non solo dell'azione sul corpo nell'istante considerato, ma anche in tutti gli istanti precedenti: questo è possibile introducendo un termine ad hoc; si introduce cioè una integrazione nel tempo. In tale termine compare il *modulo di rilassamento* deputato proprio alla descrizione della risposta del materiale in esame. La scelta del modulo di rilassamento equivale alla scelta delle caratteristiche della risposta sforzo/deformazione del materiale.

Nel caso di dissipatori antisismici lo scopo è quello di estrarre la quantità maggiore possibile di energia e questo corrisponde a considerare delle scelte opportune e ottimali per il modulo di rilassamento. Questa possibilità è legata a quella di realizzare materiali nuovi, ad esempio gel polimerici, caratterizzati dalla proprietà di dissipare grande energia in un intervallo di tempo molto piccolo. Ciò, nei modelli matematici corrisponde all'introduzione di un "*nucleo singolare*" (Carillo 2015), usando la terminologia tecnica per indicare il caso in cui il modulo di rilassamento è tanto maggiore quanto più l'istante considerato è prossimo a quello iniziale. Proprio questa peculiarità è quella promettente dal punto di vista dell'efficienza di dissipazione/estrazione di energia nel caso di terremoto.

Un'ulteriore prospettiva è rappresentata dai materiali magneto-viscoelastici (Carillo *et al.*): questi possono essere impiegati nel caso si voglia controllare la risposta viscoelastica del materiale mediante un campo magnetico esterno. Questo risultato è ottenuto inserendo delle micro o nano particelle magneticamente sensibili; la presenza di tali particelle permette di modificare la risposta viscoelastica del materiale con un campo magnetico. Dal punto di vista applicativo è una strada promettente che ha già trovato applicazioni in campo biomedico (*drug delivery*) perché inserisce la possibilità di indurre diverse risposte da parte del materiale a seconda del campo magnetico esterno.

Rimane, sotto questa prospettiva, aperto il problema della realizzazione di dissipatori viscoelastici o magneto-viscoelastici anche in funzione dello studio relativo alla possibilità di captare l'energia, tipicamente trasformata in calore, in modo da poterla utilizzare.

Le tecniche descritte sono accomunate dall'obiettivo di distribuire in maniera opportuna le grosse quantità di energia provenienti da eventi antropici o naturali che investono la struttura da preservare. Se non si riesce a garantire un giusto equilibrio tra energia cinetica ed energia dissipata la struttura è sottoposta ad una deformazione eccessiva che ne determina la crisi parziale o il collasso catastrofico.

Riferimenti bibliografici

W. Lacarbonara (2013) *Nonlinear Structural Mechanics. Theory, Dynamical Phenomena, and Modeling*. Springer, New York, ISBN: 978-1-4419-1276-3.

A. Boccamazzo, B. Carboni, G. Quaranta, W. Lacarbonara (2020) Seismic effectiveness of hysteretic tuned mass dampers for inelastic structures. In: *Engineering Structures*, Vol. 216, 110591.

F. Vestroni, W. Lacarbonara, N. Carpineto (2011) Hysteretic tuned-mass damper device (TMD) for passive control of mechanical vibrations, Brevetto di Sapienza Università di Roma, No.

RM2011A000434 (deposito del 10.8.2011), PCT/IT2012/000253, WO/2013/042152A1, EP 2742254 A1.

W. Lacarbonara, B. Carboni (2014) Multi-performance hysteretic rheological device, Brevetto di Sapienza Università di Roma, No. RM2015A000075 (deposito del 20.2.2015), PCT/IT/2016/000043, WO2016132394A3, EP20160722955, US20180245655, Cina e Hong Kong.

S. Carillo, M. Chipot, V. Valente, G. Vergara Caffarelli (2017) A magneto-viscoelasticity problem with a singular memory kernel, *Nonlinear Analysis Series B: Real World Applications*, 35C, 200–210.

S. Carillo (2015) Singular Kernel Problems in Materials with Memory, *Meccanica*, 50, (3), 603–615

2. STRUMENTI DI INCENTIVAZIONE

2.1 Incentivi, bonus, aiuti di Stato

Mario Calabrese, Riccardo Gallo

Allo scopo di far pervenire agli operatori finali quante più risorse finanziarie possibili nei tempi più brevi, in risposta alla crisi da Covid-19, la politica espansiva - adottata dal governo nella primavera del 2020 e illustrata nel paragr. 1.2 - ha sommato pragmaticamente tre logiche: ha accolto le istanze avanzate dall'economia reale per il tramite delle proprie rappresentanze associative; ha allocato le risorse nei canali vigenti e già funzionanti, se necessario facendosele autorizzare in deroga dalla Commissione europea ai sensi del *Temporary Framework*; ha varato nuove misure e nuovi strumenti laddove ha ritenuto che quelli vigenti fossero insufficienti allo scopo. Questi interventi sono stati aggiunti a un quadro di aiuti, incentivi, bonus varati a fine 2019, prima della pandemia. Incentivi per valorizzare edifici con fonti energetiche rinnovabili e ridurre il rischio sisma, aprire e ampliare attività commerciali, depositare brevetti e marchi, assumere giovani, e poi bonus bebè, bonus asili nido, bonus cultura ai diciottenni per acquistare libri e spettacoli, sport-bonus, bonus facciate. A ogni incentivo o bonus corrisponde un'infrastruttura pubblica non realizzata, un servizio non offerto, un asilo nido non costruito, una cultura non insegnata, una scuola o una università non modernizzata, un investimento materiale o immateriale non effettuato per difficoltà della Pubblica Amministrazione. Un importo non speso molto superiore all'incentivo.

A titolo esemplificativo, si riferiscono qui le risorse destinate nel 2020 alle attività economiche e produttive, gestite dal Ministero dello sviluppo economico (2021, pp 60-61). Le misure di aiuto censite sono state 47, per l'80% autorizzate con il *Temporary Framework*, tra il 22 marzo 2020 e il 31 maggio 2021. Questi interventi hanno avuto una dotazione finanziaria complessiva pari a 327 miliardi di euro e sono stati introdotti da provvedimenti adottati dal Governo dell'epoca. Gli interventi agevolativi di urgenza nel 2020 sono stati poco meno di mille e cinquecento, per un decimo adottati dalle amministrazioni centrali e per il resto da quelle regionali². Il numero delle domande approvate nel campo delle agevolazioni alle imprese è risultato più che doppio di quello del 2019. Le agevolazioni concesse nel 2020 sono ammontate a 8 miliardi, superiori del 40% circa all'anno prima. La spesa effettiva è risultata pari a poco meno di 6 miliardi, una volta e mezza quella del 2019. Gli investimenti attivati per il tramite del sistema agevolativo hanno superato i 20 miliardi (+4,6% rispetto al 2019).

L'analisi a livello di provvedimenti promossi da tutte le amministrazioni centrali, che abbiano registrato un volume di concessioni superiore a 100 milioni, evidenzia l'evoluzione dei principali interventi di sostegno alle attività economiche e produttive che, nel periodo 2019-2020, subisce un miglioramento, +25,8%, passando da 3.889,75 milioni a un importo di 4.907,62 milioni. I vari provvedimenti mostrano questa evoluzione caratterizzata da una espansione di alcune agevolazio-

2 Più precisamente, sono stati 1.466, di cui 140 delle amministrazioni centrali e n. 1.326 delle amministrazioni regionali Registro Nazionale degli Aiuti di Stato (RNA)

ni, come ad esempio il “Sostegno per la patrimonializzazione delle PMI esportatrici” (+435,13%), e dalla correlata previsioni di ulteriori misure quali: “Bando Macchinari Innovativi Intervento Fabbrica intelligente”, “Compensazione dei danni patiti come conseguenza diretta dell’evento eccezionale conseguente all’epidemia da Covid-19”, “Misure per l’internazionalizzazione del sistema Paese a valere sul Fondo per la Promozione Integrata” e “Progetti di ricerca industriale e sviluppo sperimentale nelle 12 aree di specializzazione intelligente individuate dal PNR 2015-2020”.

I decreti legge 17 marzo 2020 n.18 (Decreto Cura Italia), 8 aprile n. 23 (Decreto liquidità) e 19 maggio 2020 n. 34 (Decreto Rilancio) comprendono un articolato e ricco insieme di misure rivolte a rinforzare la resilienza del sistema sanitario nazionale e sostenere le imprese, le famiglie e le persone, al fine di fronteggiare adeguatamente le criticità emergenti dalla pandemia da covid-19. Il Governo intende evitare con forza queste difficoltà e ha predisposto una dotazione finanziaria da oltre 287.000 milioni per garantire la necessaria liquidità alle famiglie e alle imprese³. Particolarmente massiccio è stato l’intervento “Garanzia Italia - Regime di aiuti a sostegno dell’economia nel contesto dell’emergenza Covid-19” dove la dotazione finanziaria ammonta a 205.000 milioni. Quest’ultima misura rappresenta una potenzialità indirizzata a facilitare, mediante la garanzia di SACE Spa e la controgaranzia dello Stato, la erogazione di finanziamenti da parte del sistema bancario, assicurando in tal modo la vitalità delle attività economiche e d’impresa.

Una prima osservazione è che gli investimenti sono aumentati pochissimo rispetto al corrispondente aumento delle agevolazioni, forse perché bisognerebbe attendere i tempi di progettazione e ordinazione dei beni d’investimento, o forse perché le agevolazioni vengono erogate non dopo una verifica dello stato di avanzamento dei lavori. Esiste un riscontro al fatto che a fine 2020 il sistema delle imprese industriali italiane medie e grandi, pubbliche e private, aveva introitato il sostegno alla liquidità, ma non aveva investito le risorse, che quindi restavano in cassa, non spese. Infatti, l’indice di liquidità primaria era salito al livello enorme di 0,9 a fine 2020 (Osservatorio sulle Imprese 2021), pari a quasi un quinto più della media dell’ultimo mezzo secolo.

Nel campo dell’edilizia residenziale, la crescita è stata sostenuta dal Superbonus, introdotto dal decreto rilancio. Ne ha beneficiato il 40 per cento delle imprese del settore. Per quasi la metà di queste, il bonus ha interessato almeno un terzo della produzione. Secondo le statistiche della Banca d’Italia (2021), la produzione per il 2022 è per lo più previsto che migliori (solo il 7 per cento delle imprese si aspetta una contrazione), e questo sia nell’edilizia pubblica che in quella residenziale, anche grazie alle prescrizioni dal decreto Semplificazioni. Aumenta la percentuale di imprese che sono ottimistiche circa un miglioramento della redditività delle proprie gestioni.

Restano alcuni quesiti, per i quali si cercherà risposta nei prossimi paragrafi di analisi comparativa dei sistemi ingegneristici: esiste una relazione funzionale tra ricchezza prodotta (PIL) e importi assoluti di bonus e aiuti di Stato? Estremizzando, esiste un limite superiore di bonus e aiuti, oltre il quale l’impatto diviene nullo se non addirittura negativo?.

Riferimenti bibliografici

Banca d’Italia – Eurosystema (2021), Sondaggio congiunturale sulle imprese industriali e dei servizi, 8 Novembre.

Direzione generale per gli Incentivi alle Imprese (2021), Relazione sugli interventi di sostegno alle attività economiche e produttive, Ministero dello Sviluppo economico, Roma.

DL 77/2021.

3 (Direzione generale 2021, pp. 60 e ss.)

Osservatorio sulle Imprese (2021), *Industria*. Che investimenti occorrono? Sapienza, dicembre, p. 8 <https://www.ing.uniroma1.it/documenti-di-lavoro>.

2.2 Reattori chimici: una partita tra termodinamica e cinetica chimica

Maria Cristina Annesini, Nicola Verdone

La progettazione e la conduzione di un reattore chimico, utilizzato per sintetizzare un prodotto a partire da alcuni reagenti, si basa sulle ferree leggi della termodinamica chimica e sulla conoscenza, sostanzialmente empirica, della cinetica della reazione.

La termodinamica chimica, il cui sviluppo risale alla fine del XIX secolo grazie ai lavori fondanti di J.W. Gibbs⁴, associa a ogni reazione una variazione di entalpia e una costante di equilibrio; la prima indica sostanzialmente quale sviluppo o assorbimento di calore è associato alla reazione, la seconda, che dipende dalla temperatura, permette di capire:

- a. se, a partire da una miscela di composizione assegnata e, per una reazione in fase gassosa, operando a una pressione assegnata, la reazione procede spontaneamente verso la formazione del prodotto o in verso opposto;
- b. quale è la massima conversione (“conversione di equilibrio”) che può essere ottenuta dalla miscela considerata in specificate condizioni di temperatura e pressione. La termodinamica, per sua natura, è una scienza logico-deduttiva, che a partire da alcuni principi, deduce delle logiche conseguenze come la geometria euclidea deduce delle proprietà delle figure geometriche a partire dai famosi postulati. Così, pur con le cautele dovute alle semplificazioni necessariamente introdotte in un breve testo che non si rivolge agli specialisti del settore, si può affermare che dai vincoli termodinamici “non si scappa”: non esiste tecnologia che consenta di cambiare il verso in cui procede una reazione o permetta di ottenere una conversione migliore di quella corrispondente alle condizioni di equilibrio⁵; parallelamente, e con lo stesso carattere stringente, la termodinamica, definendo il calore associato alla reazione, determina di quanto si riscalda/raffredda il sistema reagente se viene isolato dall’ambiente esterno (reazione adiabatica) o quanto calore deve essere scambiato per far avvenire la reazione a temperatura assegnata. Infine, è interessante tener conto di quella che storicamente è chiamata “legge dell’equilibrio mobile di Le Chatelier”, che sintetizza i risultati di un’analisi termodinamica affermando che ogni sistema tende a reagire a una perturbazione impostagli dall’esterno minimizzandone gli effetti. Se la reazione è associata a uno sviluppo di calore, la costante di equilibrio della reazione (e quindi la massima conversione ottenibile) diminuisce all’aumentare della temperatura; questo fa sì che a un aumento di temperatura, corrisponde una diminuzione della conversione di equilibrio e quindi del calore sviluppato dalla reazione⁶.

La termodinamica, però, non esaurisce quanto gli ingegneri devono considerare per progettare e

4 J.W. Gibbs è ricordato all’università di Yale come “discoverer and interpreter of the law of chemical equilibrium”, soprattutto per il suo lavoro del 1876 “On the Equilibrium of Heterogeneous Substances”.

5 In realtà, qualche via di scampo c’è: la rimozione continua dei prodotti di reazione o di alcuni prodotti di reazione, consente di spostare la reazione verso conversioni più elevate, senza che questo costituisca una violazione delle condizioni di equilibrio della reazione; a titolo di esempio, vale la pena di citare il ben noto processo di produzione dell’idrogeno da metano con la cattura della CO₂: la rimozione continua della CO₂ – prodotta insieme all’idrogeno dalla reazione del metano – consente, in questo caso, non solo di ottenere idrogeno “blu”, con un minore impatto ambientale, ma anche di ottenere una conversione più elevata del metano.

6 La stessa legge indica che se una reazione in fase gassosa avviene con riduzione del volume della miscela, la reazione è favorita da un aumento di pressione e viceversa.

condurre reattori chimici. L'altro elemento fondamentale è la cinetica⁷ della reazione, ovvero con quale velocità evolve la reazione e come la velocità vari in relazione alle condizioni operative: la velocità di reazione, infatti, consente di determinare, per un reattore chiuso, quanto tempo è necessario per ottenere la conversione desiderata (che non può che essere inferiore alla conversione di equilibrio!) o quale volume deve avere un reattore a flusso, in cui con continuità viene alimentata la miscela dei reagenti e viene estratta la miscela contenente i prodotti di reazione insieme ai reagenti non convertiti. La velocità di reazione dipende dalle concentrazioni dei reagenti e dei prodotti, e dalla temperatura; un ingegnere chimico sa bene che può far avvenire una reazione più rapidamente aumentando la concentrazione dei reagenti, diminuendo la concentrazione dei prodotti o aumentando la temperatura di reazione. Le prime due opzioni, in realtà, hanno un'efficacia limitata: è, infatti, evidente, che se lo scopo è ottenere il prodotto dai reagenti, nel corso della reazione la concentrazione dei reagenti andrà diminuendo e la concentrazione dei prodotti andrà aumentando, con il risultato di una inevitabile riduzione della velocità di reazione. Anche l'aumento della temperatura è un'opzione da valutare con attenzione, tenendo conto dei pro e dei contro: più alta è la temperatura maggiore è il consumo di energia per il riscaldamento della miscela, maggiore è il rischio di reazioni secondarie che riducono la resa del processo o la purezza del prodotto e il costo delle operazioni a valle di separazione e purificazione e, in alcuni casi, maggiore è il costo dei materiali da utilizzare per la costruzione del reattore. Per le reazioni esotermiche, poi, c'è un problema molto serio: come già detto, se si aumenta la temperatura si riduce la conversione massima ottenibile (conversione di equilibrio); in termini semplici, si può dire a temperatura più elevata una reazione esotermica procede più velocemente, ma “si ferma” prima.

Per fortuna, nella maggior parte dei casi esiste un'altra chance per aumentare la velocità di una reazione: l'uso di catalizzatori⁸, di sostanze cioè che, pur non essendo consumate o prodotte dalla reazione, ne aumentano la velocità. A partire dall'intuizione di Arrhenius⁹, l'azione del catalizzatore viene interpretata dicendo che il catalizzatore riduce la barriera energetica (“energia di attivazione”) che i reagenti devono superare per trasformarsi nei prodotti.

A questo punto viene da chiedersi: in un processo, conviene aumentare senza limiti la quantità di catalizzatore? Si potrebbe infatti immaginare che più catalizzatore si utilizzi, più rapidamente si otterrebbe il prodotto, più piccolo sarebbe il reattore da installare e, quindi, in ultima analisi, “meglio è”. Purtroppo ci sono molti motivi tecnici ed economici che dicono che non è così.

Per quanto riguarda i motivi economici, è sufficiente considerare che il catalizzatore ha un costo e in molti casi un costo elevato: tra i migliori catalizzatori industriali ci sono i metalli nobili, nei processi biotecnologici i catalizzatori sono enzimi che devono essere estratti a colture di microrganismi o cellule con processi costosi, etc. È vero che i catalizzatori non vengono consumati dalla reazione, ma se il catalizzatore è presente nella stessa fase della miscela reagente alla fine il catalizzatore viene “perso” con la miscela contenente i prodotti¹⁰ o deve essere recuperato, di nuovo con un costo non trascurabile, dalla stessa miscela. Per non perdere il catalizzatore o evitare queste operazioni di separazioni, nell'industria chimica si fa largo uso di catalizzatori eterogenei¹¹, in particolare di catalizzatori solidi, che vengono caricati nel reattore all'inizio del suo funzionamento, in modo che per tutto il tempo di esercizio la miscela reagente scorra nel reattore venendo a contatto

7 Storicamente, lo studio della cinetica chimica inizia alla fine del XIX secolo, più o meno contemporaneamente e in stretta relazione all'enunciazione delle leggi della termodinamica chimica, ad opera di J.H. van't Hoff.

8 Il termine catalizzatore, dal greco $\kappa\alpha\tau\alpha\lambda\acute{\upsilon}\omega$ «sciogliere», è stato introdotto 1836 dal chimico svedese J. Berzelius.

9 Ancora una volta, siamo alla fine del XIX secolo.

10 In alcuni processi di polimerizzazione per la produzione di materiali plastici di alto consumo, il catalizzatore rimane incluso nel polimero prodotto.

11 Un esempio noto a tutti di sistema con un catalizzatore eterogeneo è la marmitta catalitica degli autoveicoli.

con il catalizzatore. In questo caso, gli ingegneri chimici devono fare i conti con un ineluttabile invecchiamento del catalizzatore che, anche in assenza di fenomeni di avvelenamento, ne riduce l'attività; in altri termini, anche se su una scala di tempi più o meno lunga, è sempre da prevedere una sostituzione del catalizzatore e considerare quindi il relativo costo.

Per entrare invece in aspetti più tecnici, è fondamentale tener conto degli effetti termici associati alla reazione e alla necessità di controllare la temperatura a cui avviene la reazione. Limitandosi a considerare un reattore a flusso, alimentato con una portata assegnata una miscela alla temperatura T_0 , la termodinamica chimica insegna che, se non si provvede a scambiare calore nel reattore, fissata la conversione X che si vuole ottenere è univocamente definita la temperatura di uscita dal reattore; se, viceversa, si vuole ottenere la conversione X operando a temperatura T è univocamente determinata la potenza termica da scambiare nel reattore. Come si è detto precedentemente, aumentando la quantità di catalizzatore si riduce il volume del reattore, ma più piccolo è il reattore più difficile è realizzare un sistema di scambio termico in grado di rimuovere o fornire la potenza termica (che rimane invariata perché dipende solo da X) necessaria per controllare la temperatura del reattore. A titolo di esempio, si può considerare un reattore tubolare, riempito di un catalizzatore solido, in cui avviene una reazione esotermica; per controllare la temperatura, si provvede allo scambio termico tra il fluido che scorre nel reattore e un fluido di servizio che scorre all'esterno del reattore. Procedendo dalla sezione di ingresso verso la sezione di uscita del reattore, la miscela reagente va progressivamente impoverendosi nei reagenti e arricchendosi nei prodotti; pertanto, se il catalizzatore è distribuito uniformemente lungo il reattore, si avrà una velocità di reazione molto elevata vicino alla sezione di ingresso, velocità di reazione che andrà progressivamente riducendosi muovendosi verso la sezione di uscita. Parallelamente, si avrà lo sviluppo di una potenza termica molto elevata vicino alla sezione di ingresso e una potenza molto più bassa mano a mano che si procede verso la sezione di uscita. Per contro, se vicino alla sezione di ingresso la potenza termica rimossa dal fluido di servizio (che dipende dalla differenza di temperatura tra il fluido nel reattore e il fluido di servizio) sarà inferiore alla potenza termica sviluppata dalla reazione, in questa zona del reattore, la temperatura del reattore tenderà ad aumentare e questo farà ulteriormente aumentare la velocità di reazione e la potenza termica sviluppata; il tutto fino a che la temperatura del reattore sarà tanto alta da determinare un salto termico con il fluido di servizio tale consentire di rimuovere una potenza termica a quella sviluppata dalla reazione. Come illustrato schematicamente nella figura, il risultato è un picco di temperatura ("hot-spot") nella zona vicino alla sezione di ingresso del reattore, hot spot che può avere effetti deleteri sul catalizzatore che si disattiva, sulla purezza del prodotto a causa dell'innescio di reazioni secondarie, sulla resistenza dei materiali. In queste condizioni, si può osservare anche una forte sensibilità del sistema alla temperatura di ingresso del fluido nel reattore, con aumenti della temperatura di ingresso di pochi gradi che determinano un forte innalzamento della temperatura dell'hot-spot.

L'esigenza di evitare la formazione di hot-spot può quindi far optare per una riduzione della quantità di catalizzatore utilizzata nella prima parte del reattore, anche a costo di rinunciare a una più elevata velocità di reazione e "rassegnandosi" a dover prevedere un maggior volume di reattore.

2.3 Autoeccitazione generatori elettrici

Federico Caricchi

Nel campo della produzione di energia elettrica con gruppi autonomi (gruppi elettrogeni) si utilizzano generatori elettrici "autoeccitati" cioè in grado di "autofornirsi" quella piccola potenza elettrica, prelevata da propri morsetti, per sostenere il campo magnetico all'interno del generatore, necessario per indurre tensioni nella macchina e per consentire quindi il processo di conversione

dell'energia meccanica, dal motore primo al generatore elettrico.

Quando il generatore sta per essere avviato, ponendo in rotazione il suo rotore mediante il motore primo, non è disponibile energia elettrica ai morsetti del generatore, essendo fermo; non si dispone perciò neppure di quella piccola quantità di energia che servirebbe per l'eccitazione, cioè per avviare il processo di conversione. In realtà i materiali magnetici con cui viene costruito il rotore del generatore presentano un "magnetismo residuo", cioè hanno una memoria di magnetizzazione che permane anche quando il generatore è a riposo. Da un punto di vista energetico se una parte della macchina conserva uno stato di magnetizzazione, significa che una quantità di energia è immagazzinata nel campo magnetico associato a questi materiali con memoria. È questa magnetizzazione residua che, avviato il generatore, permette di sostenere un campo induttore che, seppur di modesta intensità, genera tensioni indotte che a loro volta, alimentando il circuito di eccitazione, rafforzano il magnetismo residuo già presente, fornendo l'eccitazione necessaria per il corretto funzionamento del generatore; un processo che si innesca con una piccola energia e che si amplifica e autosostiene.

Può verificarsi che, in seguito a lunghi periodi di inattività del generatore, il rotore non conservi questo magnetismo residuo; in queste condizioni pur mettendo in rotazione il rotore viene a mancare l'innescamento del processo di magnetizzazione del generatore e quindi il generatore rimane inattivo. Per rimediare a questo inconveniente è necessario fornire dall'esterno una quantità di energia che possa "attivare" la magnetizzazione: si interviene sul circuito di eccitazione, o con un accumulatore elettrochimico o con un condensatore preventivamente caricato, per produrre quella magnetizzazione in grado di avviare il processo di eccitazione.

L'energia richiesta è piccola in quanto occorre solo ripristinare uno stato di magnetizzazione iniziale che possa poi avviare la definitiva autoeccitazione; del resto un eccesso di energia fornita in questa fase dall'esterno non produrrebbe un effetto più rilevante, tenendo conto che la saturazione dei materiali magnetici determina una limitazione dell'effetto prodotto (campo magnetico B) anche in presenza di una causa (corrente di eccitazione I) molto forte (fig. 2.3.1), e determina inoltre un effetto di stabilizzazione, impedendo una "escalation" della magnetizzazione e la conseguente instabilità di funzionamento del generatore, con tensione ai morsetti di valore incontrollabile.

Note biografiche degli autori

Nicola Acocella. Laureato in Economia alla Sapienza, allievo di Federico Caffè, ha insegnato Politica economica e finanziaria fino al 2011 nella stessa Facoltà ed è ora Emerito. Ha scritto più di 200 fra libri - pubblicati oltre che in inglese, in cinese ed altre lingue - ed articoli in materia di: Economia del Benessere, Teoria della Politica Economica ed Aspettative Razionali, Multinazionali, Economia Industriale, Globalizzazione, Economia Europea, Economia del Lavoro e Sindacati, Politica Monetaria e Macro-prudenziale.

Adriano Alippi. Già professore ordinario di Fisica, Facoltà di Ingegneria, Sapienza, è stato Direttore dell'Istituto di Acustica O.M. Corbino del CNR; Presidente dell'Ass. Italiana di Acustica; Rappresentante italiano nell'International Commission of Acoustics, dell'International Union of Pure and Applied Physics; Direttore dell'International School of Acoustics del Centro Internazionale per la Cultura Scientifica, a Erice; Direttore dell'Enciclopedia Treccani. Ha lavorato e pubblicato su: Olografia ottica, Onde elastiche superficiali, Dispositivi acusto-elettronici e optoelettronici, Acusto-ottica, Non linearità ottiche e acustiche, Cavitazione, Proprietà elastiche di strutture complesse e frattali, Applicazioni biomediche delle onde elastiche, Strutture tensintegre.

Nunzio Allocca. Professore associato, Dipartimento di Filosofia della Sapienza Università di Roma, dove insegna Storia delle scienze e delle tecniche e History of brain and mind sciences. Dedicò i suoi studi all'analisi delle teorie della mente, della percezione e delle emozioni in età moderna a partire da Descartes, nonché al dibattito sul Mind-Body Problem nel panorama filosofico, neuroscientifico e psicologico contemporaneo. Svolge ricerche nell'epistemologia e nella storia dell'innovazione tecnologica. Nel 2020 è stato Visiting Professor presso l'Università Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Maria Cristina Annesini. Professore ordinario di Principi di Ingegneria Chimica presso La Sapienza, dove attualmente insegna Fenomeni di Trasporto e Reattori Chimici. È autore di più di 120 pubblicazioni su riviste a diffusione internazionale; negli ultimi anni la sua attività di ricerca è incentrata sui processi sostenibili di produzione di idrogeno mediante l'uso di fonti energetiche rinnovabili.

Mario Calabrese. PhD. Junior Research Fellows per la Scuola Superiore di Studi Avanzati Sapienza (SSAS) e Ricercatore RtdB presso il Dipartimento di Management, Facoltà di Economia, Sapienza Università di Roma, dove insegna Misurazione della Performance. Per il CdL Scienze della Moda e del Costume dell'Ateneo insegna Innovation Design. I suoi attuali interessi includono l'approccio sistemico vitale, il governo e la gestione delle organizzazioni, il management dell'innovazione, lo sviluppo sostenibile e il Supply Chain Finance. Su questi temi ha scritto diversi saggi.

Biagio Carboni. Ph.D. in Ingegneria Strutturale conseguito alla Sapienza Università di Roma presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica. RTD-b di Scienza delle Costruzioni presso lo stesso dipartimento. Coautore di 33 pubblicazioni scientifiche su riviste e atti di conferenze, 2 brevetti internazionali ed 1 brevetto in fase di valutazione. La sua attività di ricerca è focalizzata sulla modellazione fenomenologica, sul controllo delle vibrazioni attraverso l'utilizzo di dispositivi a comportamento non lineare e sull'identificazione delle proprietà meccaniche di materiali e strutture con marcato comportamento non lineare.

Federico Caricchi. Professore ordinario presso la Facoltà di Ingegneria, Sapienza Università di Roma, dove è docente dei corsi di Macchine Elettriche e Progettazione di Veicoli Elettrici. È autore di oltre 100 pubblicazioni scientifiche e di brevetti nazionali ed internazionali. La sua attività di ricerca è rivolta allo studio di macchine elettriche a magneti permanenti ad alta efficienza per la trazione di veicoli elettrici e ibridi e per la propulsione aerea e navale.

Sandra Carillo. Ph.D.in Matematica Applicata, Waterloo University, Ontario, Canada. Professore Associato (con idoneità di Ordinario) di Fisica Matematica, Sapienza Università di Roma. Membro del Consiglio Direttivo A.I.M.E.T.A. (Segretario). Membro del Board I.M.A.C.S.. Membro del Collegio del Dottorato di Ricerca in ICT. Afferente I.N.F.N., Roma. Membro dell'Editorial Board di diverse riviste internazionali, ha curato 5 Volumi e 5 Special Issues di Riviste internazionali. Autrice di 86 pubblicazioni scientifiche su riviste e atti di conferenze internazionali, si occupa dello studio di materiali con memoria e di fenomeni nonlineari.

Fabrizio Frezza. Dottore di ricerca in Elettromagnetismo applicato e Scienze elettrofisiche alla Sapienza Università di Roma, dove è Professore ordinario di Campi elettromagnetici presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni. Tiene corsi di Elettromagnetismo di base e avanzato, Microonde e Materiali innovativi. Si è occupato inoltre di ottica; metodi matematici e numerici; applicazioni biomediche, ai beni culturali e ambientali e dell'intelligenza artificiale; trasferimento tecnologico; storia della scienza e della tecnica.

Riccardo Gallo. Ingegnere economista industriale. Presidente dell'Osservatorio sulle Imprese nella Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale, Sapienza Università di Roma, dove è stato Professore ordinario di Economia Applicata fino al 2013. Ha svolto compiti di risanamento del sistema produttivo italiano in ambiti governativi, finanziari, aziendali. Ha invocato più volte un rilancio degli investimenti industriali e ha ispirato la misura del superammortamento.

Walter Lacarbonara. Professore ordinario di Scienza delle Costruzioni nel Dipartimento DISG, Sapienza Università di Roma. Si occupa di dinamica non lineare, controllo delle vibrazioni strutturali, metamateriali e materiali nanostrutturati ad alta dissipazione di energia. È Editor-in-Chief della rivista di categoria Q1 Nonlinear Dynamics di Springer Nature USA dal 2017. È stato Presidente della Commissione Tecnica su Multibody Systems and Nonlinear Dynamics della American Society of Mechanical Engineers, Presidente di Conferenze internazionali (2015 ASME IDETC Boston, NODYCON2019, NODYCON2021, NODYCON2023). Autore di 280 pubblicazioni scientifiche internazionali, 7 libri, 4 brevetti internazionali su apparati di controllo delle vibrazioni e strutture tensairity.

Salvatore Monaco. Professore ordinario di Teoria dei sistemi alla Sapienza 1986-2021, è stato coordinatore dei corsi di studio e di dottorato nel settore dell'Automatica dal 2000. Ha partecipato al trasferimento tecnologico e all'internazionalizzazione in iniziative universitarie e governative dai primi anni '80. Membro e fondatore dell'Executive Council della European Control Community Association 1997-2007. Fellow dell'Institute Electrical and Electrical Engineer dal 2003.

Francesco Napolitano. Professore ordinario di Costruzioni Idrauliche, Marittime e Idrologia, Sapienza, Università di Roma. Membro di organizzazioni scientifiche nazionali e internazionali. Consulente istituzionale per Dipartimento Protezione Civile, Ministero Ambiente, Ministero Infrastrutture, Consiglio Superiore LL.PP.. Componente di commissioni giudicatrici di appalti pubblici e collaudo di impianti di depurazione e potabilizzazione acque. Autore di oltre 180 pubblicazioni nazionali ed internazionali.

Elena Ridolfi. Ricercatrice e docente di Infrastrutture Idrauliche presso La Sapienza, dove è stata Dottore di Ricerca con Label Europeo nel 2013. Ricercatrice dal 2015 al 2018 presso l'Università

di Perugia e fino al 2020 presso l'Università di Uppsala in Svezia. Collaborazione con l'UNESCO IHE-Delft (dal 2011) e con l'Università di Stoccarda (dal 2015). Si occupa di statistica applicata all'idrologia, all'interazione tra società ed eventi estremi per la mitigazione del rischio. Conta numerose pubblicazioni su riviste internazionali ad alto impatto scientifico.

Nicola Verdone. Dopo un'esperienza professionale in Raffineria di Roma, Enel, Eni, è Professore ordinario di Impianti Chimici presso La Sapienza e Direttore del Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente. È autore di numerose pubblicazioni su riviste internazionali. Si occupa prevalentemente di analisi energetica dei processi di interesse dell'industria chimica e dell'ambiente e di intensificazione di processo.

Questo rapporto fa seguito a tre altri lavori. Il primo volume: *INDUSTRIA, ITALIA Ce la faremo se saremo intraprendenti*, Sapienza Università Editrice, settembre 2020, analizzò le capacità di risposta alla pandemia dell'industria in senso lato, compresa quella delle costruzioni, delle grandi opere, delle reti materiali e immateriali. Il secondo: *INFRASTRUTTURE DI BASE Che investimenti occorrono?*, marzo 2021, indicò le priorità di progresso per ciascuna infrastruttura (stradale, elettrica, gas, ferroviaria, idrica, digitale 5G). il terzo: *INDUSTRIA Che investimenti occorrono?*, dicembre 2021 riguardò l'invecchiamento delle fabbriche italiane, le opportunità per ciascuno dei principali settori, la previsione dei tempi necessari per ritrovare le condizioni di convenienza a investire massicciamente.

Questo rapporto analizza le recenti dinamiche nell'Economia italiana (crescita, inflazione), ne coglie l'andamento oscillatorio, lo compara con le dinamiche nell'Ingegneria, avanza ipotesi di soluzioni e suggerimenti al *policy maker*, anche alla luce dell'impatto della crisi internazionale in Ucraina.

Sapienza, il più grande Ateneo d'Europa, mette le proprie competenze di ingegneria ed economia industriale a disposizione di Istituzioni, tessuto produttivo e società civile, in coerenza con l'idea di Terza missione dell'Università.

Questo Rapporto è curato dall'Osservatorio sulle Imprese della Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale, con il contributo di Nicola Acocella, Adriano Alippi, Nunzio Allocca, Maria Cristina Annesini, Mario Calabrese, Biagio Carboni, Federico Caricchi, Sandra Carillo, Fabrizio Frezza, Riccardo Gallo (presidente), Walter Lacarbonara, Salvatore Monaco, Francesco Napolitano, Elena Ridolfi, Nicola Verdone.