
BOLLETTINO

UNIONE MATEMATICA ITALIANA

Sezione A – La Matematica nella Società e nella Cultura

ANTONIO FASANO

Qualche considerazione sulla matematica industriale in Italia

*Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, Serie 8, Vol. 8-A—La
Matematica nella Società e nella Cultura (2005), n.1, p. 83–106.*

Unione Matematica Italiana

[<http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_2005_8_8A_1_83_0>](http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_2005_8_8A_1_83_0)

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Qualche considerazione sulla matematica industriale in Italia.

ANTONIO FASANO

1. – Situazione e prospettive.

Alcuni anni fa il direttore della Sez. A del Bollettino UMI mi invitò a scrivere un articolo sulla cosiddetta matematica industriale nel nostro paese. Io risposi che l'avrei fatto con piacere, ma un po' più in là. Il rinvio era motivato sì dalla mancanza di tempo, ma anche da un certo timore circa gli sviluppi della matematica industriale in Italia nell'immediato futuro. Ora posso dire con piacere che sono sorte molte interessanti iniziative per consolidare l'interazione tra i matematici e le imprese, in passato limitata ad azioni individuali, sia pure di un certo interesse. Alfio Quarteroni, che è diventato un po' la bandiera della matematica industriale italiana (e svizzera) dopo il clamoroso successo della barca svizzera nell'America's Cup⁽¹⁾, ha fondato a Milano il MOX⁽²⁾ presso il Politecnico, dopo aver lasciato la direzione del CRS4 di Cagliari (pionieristica impresa di consulenza industriale in Italia, voluta dalla Regione Sardegna). Pure a Milano, ma in Via Saldini, era stato fondato il MIRIAM. A Catania i fisici matematici hanno brillantemente sfruttato il vantaggio di vivere in un'area tecnologica avanzata per mettere in opera importanti collaborazioni specialmente nel settore dell'elettronica (con S.T. Microelectronics). A Firenze, col supporto di enti privati e dell'ITWM-

⁽¹⁾ È da poco apparso in questa stessa rivista un bell'articolo che illustra le simulazioni numeriche per questo affascinante problema di fluidodinamica [9].

⁽²⁾ Per semplicità userò semplicemente gli acronimi delle varie istituzioni. I più curiosi possono rivolgersi a Google!

Fraunhofer di Kaiserslautern, è nata I2T3, di cui dirò ancora qualcosa successivamente, essendo l'istituzione che meglio conosco. Buone notizie vengono anche dai due grandi poli matematici del CNR (l'IMATI del nord e l'IAC del centro-sud), che mostrano sempre maggior sensibilità verso il mondo imprenditoriale e della finanza). Anche dal punto di vista della formazione molte e di un certo interesse sono le iniziative che hanno preso corpo negli ultimi anni anche a seguito degli ampi dibattiti in seno all'UMI e alla SIMAI: vari corsi di laurea in Ingegneria Matematica (se non erro il primo nacque presso il Politecnico di Torino), vari corsi di Master e di Dottorato (oltre al Master del già citato MIRIAM, ricordo ancora a Milano la SAMI che opera presso la Bicocca, un Master attivato alla SISSA di Trieste e il Perfezionamento in Matematica per le Tecnologie Industriali presso la Scuola Normale Superiore di Pisa). Credo che l'elenco vada allungandosi e c'è comunque una chiara sensibilizzazione del mondo accademico verso il problema, favorita anche da una certa aleatorietà dei finanziamenti ministeriali.

Dunque anche in Italia i matematici hanno scoperto l'industria e l'industria ha sposato la matematica? Piano, piano... facciamo qualche passo indietro.

Quando, una quindicina di anni fa, partecipai alla stimolante avventura della fondazione dell'European Consortium for Mathematics in Industry (ECMI) (di cui divenni presidente nel 1990-1991)⁽³⁾, l'Italia era una specie di Cenerentola in Europa. La Francia (che con l'ECMI non ha mai stretto forti legami) poteva vantare una lunga e blasonata tradizione, tuttora perdurante, che ha sempre visto insigni matematici alla guida di enti pubblici e privati della massima importanza: una scelta voluta a livello politico. E ciò nella patria del Bourbakismo!

⁽³⁾ La presidenza dell'ECMI pareva in quel periodo soggetta a una tragica maledizione. Ben tre presidenti morirono anzitempo, di cui due in carica. Altri, incluso me, se la cavarono con malanni di una certa entità, ma fortunatamente transitori. Dei «padri fondatori» dell'ECMI molti scomparvero prematuramente. Erano persone squisite, di cui conservo un ricordo meraviglioso; permettetemi di ricordarle: Stan Ackermann (Eindhoven), Herik Martens (Trondheim), Alan Tayler (Oxford), Hansjoerg Wacker (Linz).

L'Olanda con le sue roccaforti industriali (Eindhoven, Breda, Rotterdam) ha sempre compreso l'importanza di un forte supporto della matematica per il progresso industriale.

L'Inghilterra è la patria degli «Study Groups», incontri periodici tra matematici e industriali su temi specifici, un costume che ha costituito un autentico patrimonio culturale e che è stato poi efficacemente trapiantato in Australia. Ricordo l'attivissimo OCIAM di Oxford e l'Isaac Newton di Cambridge con le sue notevolissime risorse.

La Germania ha visto la fondazione di grandi Istituti di ricerca tecnologica avanzata, voluti e diretti da matematici (CAESAR a Bonn, fondato da K.H. Hoffman, ITWM a Kaiserslautern, fondato da H. Neunzert e affiliato, unico gruppo matematico, al colosso Fraunhofer). Ricordiamo anche a Berlino i centri WIAS, diretto da J. Sprekels e ZIB, diretto da P. Deuffhard.

La Svezia e la Finlandia erano altri partner dell'ECMI con una interazione matematica-industria di volume nettamente superiore a quanto si poteva vedere da noi. Per molti anni, finché ce l'ho fatta, sono stato reviewer di tutte le tesi di matematica industriale per il conseguimento del diploma ECMI, eccellente osservatorio di come andassero le cose in questo settore in Europa. Non che noi fossimo assenti (ci siamo comunque sempre difesi sul piano della qualità), ma soffrivamo della mancanza di una tradizione.

Negli Stati Uniti le industrie hanno capito da molto tempo che finanziare borse di dottorato vuol dire assicurarsi a buon mercato le competenze di forti gruppi universitari. E i colleghi matematici giapponesi non sono certo mai stati afflitti da problemi di finanziamenti, avendo un buon filo diretto coi loro colossi industriali.

Dunque noi arriviamo sulla scena della matematica industriale con un certo ritardo e, nonostante la visibilità delle varie iniziative, non direi che si sia ancora instaurato il tessuto culturale che spinge l'industriale a rivolgersi al matematico come opzione spontanea. La nostra industria fa un uso ancora modestissimo dell'enorme potenziale di conoscenze che viene offerto dalla matematica.

Purtroppo arriviamo in un momento di crisi economica. E qui

devo mio malgrado ripescare quei timori che mi avevano fatto rimandare la stesura di questo articolo.

È ben noto che l'industria italiana ha sempre affrontato con una certa – diciamo così – parsimonia il problema della ricerca e dell'innovazione, sempre in affanno per i costi del lavoro, il calo di competitività, ecc. Ciò anche a dispetto di contributi statali per la ricerca di notevole entità. Il quadro non è certo andato migliorando negli ultimi anni. Marchi gloriosi sono scomparsi o sono ora proprietà di multinazionali. Il settore forse più colpito è quello chimico. Poiché è proprio con il settore chimico-energetico quello con cui personalmente sono stato più in contatto, ho potuto registrare arretramenti dolorosi, la dispersione di invidiabili competenze, lo smantellamento di impianti pilota, la tendenza sempre più marcata all'importazione di tecnologie e di software sviluppati all'estero.

E come le proprietà passano oltr'Alpe, anche la ricerca segue lo stesso cammino. Non è questo il luogo per esaminare le cause, per attribuire responsabilità, né ho io le conoscenze economiche e politiche per emettere giudizi o per predire se mai ci sarà un ritorno ai tempi d'oro della chimica industriale italiana. Ciò che interessa notare qui è che la «torta» industriale che noi matematici poco abbiamo gustato in passato, ci sta sparendo sotto gli occhi, con qualche felice ma rara eccezione.

Purtroppo ciò avviene proprio quando i matematici si sono svegliati e hanno messo in campo delle forze interessanti, creando un terreno buono perché l'industria recuperasse finalmente un atteggiamento costruttivo nei riguardi della matematica. Un'impresa che lotta col bilancio, col problema dell'occupazione, con l'erosione del mercato non è invogliata a battere strade nuove, a fare scommesse, anche a basso costo. Non è però il caso di disperare.

C'è un elemento di sia pur cauto ottimismo e viene ... dall'Oriente.

La Cina in particolare si appresta a dare una spallata brusca all'economia occidentale, specialmente a quella europea, che si è dotata di scarse protezioni. La risposta che l'Occidente dovrà dare sarà necessariamente tecnologica. Più tecnologia vuol dire più matematica. E nell'immediato futuro, come vedremo, i matematici si troveranno in vantaggio.

2. – E se facessimo un passo molto, molto più indietro...?

Ci troveremmo praticamente al punto di partenza!

Nel propormi di scrivere queste considerazioni l'amico Coen mi fece pervenire due articoli apparsi nel volume *Les grands courants de la pensée mathématique*, pubblicato a cura di F. Le Lionnais nel 1948 (Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, Paris), un'opera ancora di grande interesse. Si tratta di articoli molto pertinenti:

- *Les Mathématiques dans l'Industrie*, di Michel Luntz [8],
- *Les Mathématiques et l'Ingénieur*, di Maurice Roy [10].

Più che per darmi uno spunto Salvatore lo fece per attizzare la mia voglia di scrivere. Quando però lessi l'articolo di Luntz dubitai che mai avrei cominciato l'impresa. E come avrei potuto dire meglio oggi quelle cose che già allora quel signore aveva esposto con una prosa tanto brillante, col potere di convinzione che deriva da una grande cultura! Anzi, invece di perder tempo con queste mie modestissime riflessioni, andate a leggere l'articolo di Luntz. Resterete subito affascinati dal suo primo esempio, che segue il percorso della corrente elettrica che arriva dalla centrale all'interruttore in casa vostra e infine alla semplice lampadina. Quanta strada fa insieme ad essa la matematica! Dai campi elettromagnetici del generatore, alla meccanica delle turbine, alla linea di trasmissione, alla rete di distribuzione, al filamento della lampadina. Problemi di elettromagnetismo, di reti elettriche, di propagazione, di meccanica delle strutture rotanti e dei fili, la termomeccanica del filamento, ecc. Problemi che assumono forme matematiche molto diverse fra loro e che quindi non solo richiedono la comprensione di tanti fenomeni fisici (in questo caso ben conosciuti, ma non è sempre così...), ma anche vi mettono di fronte soggetti matematici disparati, ognuno affrontabile con varie tecniche. Ecco una delle caratteristiche del matematico industriale, come lo vedeva Luntz nel 1948, ma come dev'essere anche oggi. Lasciatemi usare le sue parole: «Le mathématicien industriel doit posséder une érudition mathématique étendue dans toutes les branches de la science mathématique ayant déjà reçu des applications, at aussi dans celles dont on peut prévoir les applications dans

le proche avenir». È già sorprendente l'uso del termine di *matematico industriale*. Forse un termine coniato da lui stesso: "...une nouvelle catégorie de cadres devrait être créée, à savoir celle des mathématiciens industriels». E pensare che questo era uno degli obiettivi che l'ECMI poneva nel suo manifesto di fondazione quasi mezzo secolo più tardi! Certo la definizione di Luntz appare oggi troppo impegnativa. Chi può oggi accumulare tante conoscenze nel corso di una intera vita di studio? Rimane il fatto che il matematico industriale deve muoversi a suo agio in diversi campi della matematica. Non si richiede che sia un'enciclopedia ambulante, ma che sia pronto a lasciare i terreni a lui più familiari per impadronirsi almeno degli aspetti fondamentali delle tecniche più idonee a risolvere un problema specifico.

Qui sta proprio la differenza tra il matematico applicato «occasionale» e il matematico applicato «professionista». Questo è un aspetto così importante che sarà opportuno discuterlo in un paragrafo a parte.

Adesso converrà limitarsi a sottolineare il fatto che le applicazioni industriali sono generalmente così complesse da imporre al mestiere del matematico industriale due caratteristiche principali:

1) la capacità di costruire modelli matematici, di analizzarne la struttura e di affrontare il problema della produzione di software adeguati alle necessità dell'utente;

2) il lavoro di squadra, non solo coi colleghi matematici, ma tipicamente con ingegneri, chimici, fisici, sviluppando la capacità di dialogare con loro in un linguaggio per essi comprensibile (quindi poco matematizzato).

La prima è figlia dell'esperienza. Le persone della mia generazione l'hanno acquisita sul campo. Ai giovani viene offerta la possibilità di imparare il mestiere, muovendo i primi passi nella giusta direzione e soprattutto operando nella squadra, dove le idee si formano e prendono corpo grazie alla convergenza di competenze diverse.

Ma torniamo alla sorprendente lettura di Luntz: «L'industriel préfère remplacer par un manoeuvre un ouvrier qualifié; il préfère un contremaître à un ingénieur, un ingénieur à un physicien, un physicien à un mathématicien. Et si l'ingénieur est mieux payé qu'un

contremaître, le physicien est bien moins payé qu'un ingénieur et le mathématicien est le parent pauvre du physicien». Sbalorditivo! Se volessimo soltanto elencare le immense, dirimpenti rivoluzioni della tecnica industriale dal 1948 a oggi e gli sconvolgimenti scientifici e storici attraverso cui sono passate, riempiremmo molte più pagine di quelle che vado scribacchiando in questo momento. Ma questi terremoti della cultura, questi monsoni della storia, questi monumenti del sapere eretti col sacrificio di un paio di generazioni, non hanno lasciato alcuna traccia nella filosofia quotidiana degli organigrammi industriali! E la «povertà» del matematico è sempre lì a testimoniare. Intendiamoci: il matematico è povero anche per sua scelta. Ma di ciò avremo modo di riparlare.

Nel suo articolo Luntz mostra anche una preveggente sensibilità all'allora nascente calcolo automatico. Strumento oggi talmente sviluppatto da offrire alla ricerca industriale (ma anche a molte altre discipline: si pensi alla decodificazione del genoma umano) metodi di ricerca del tutto impensabili in un passato relativamente recente e divenuti ormai insostituibili.

E veniamo all'articolo di Maurice Roy, *Les Mathématiques et l'Ingénieur*. Forse su questo argomento avevamo un tempo le idee più chiare. Oggi, dopo la riforma del «3 + 2» e dopo interminabili quanto infruttuose discussioni in tutti i corsi di laurea di tutte le Facoltà di Ingegneria d'Italia, si capisce solo una cosa: alla matematica nell'ingegneria hanno spezzato le ossa! E tutto questo perché? Per la fretta di fare un ingegnere in tre anni? Ma quale ingegnere! Quella che abbiamo appena distrutto, quella era una grande scuola di ingegneria! Posso dirlo con molta convinzione, non tanto perché ho insegnato per molti anni agli ingegneri, ma soprattutto perché come matematico industriale mi sono trovato a lavorare fianco a fianco con ingegneri di varia estrazione, persone di indiscutibile levatura, con una eccellente preparazione, abituate ad affrontare problemi scientificamente rilevanti, persone che avevano realizzato opere importanti.

Che faranno i nostri ingegneri triennali? La loro ignoranza matematica consentirà loro di acquisire col «+ 2» la solidità necessaria per un mestiere così difficile? Mi verrebbe voglia di dire che per la

piega che va prendendo la nostra industria forse non ci sarà più bisogno della vecchia gloriosa figura dell'ingegnere. Ma perché non lasciamo parlare Maurice Roy? «Dans l'art de l'ingénieur nul problème ne peut se résoudre sans recours aux mathématiques, ce qui justifie le place assez large faite à l'enseignement de celles-ci dans la formation des ingénieurs». E si mette a elencare quanta matematica si insegnava correntemente agli ingegneri (già molta di più di quella che si insegnava da noi prima del «3 + 2»), concludendo che per l'ingegneria «moderna» (allora!) era insufficiente! Stiano allerta i matematici: presto si apriranno per loro larghi spazi lasciati vuoti dagli ingegneri. Sarà essenziale approfittarne.

Anche Roy manifesta grande attenzione per la questione del calcolo scientifico e auspica che la creazione dei centri di calcolo venga affidata ai matematici. E così avvenne in Francia. Da noi i primi ad appropriarsene furono i fisici. Solo in un secondo tempo i matematici italiani ripresero in mano le redini del calcolo scientifico. In questo tutti siamo debitori a Enrico Magenes (certo non un analista numerico!) che mise in piedi l'IAN a Pavia, producendo la scuola che tutti conosciamo.

3. – Matematica applicata e matematica industriale.

Questo è un argomento che conosco bene perché ho fatto entrambi i mestieri. La distinzione fra i due soggetti può sembrare una sottile pignoleria, ma è invece macroscopica.

Nell'ambiente accademico per matematica applicata si intende una matematica rivolta sì alle applicazioni, ma in cui l'accento resta sulla matematica. Quindi si formulerà un problema matematico che ha una qualche attinenza con un problema reale (fisico, chimico, biologico, ecc.), ma con lo scopo principale di studiare della matematica originale e dimostrare teoremi di buona posizione, proprietà qualitative, stime asintotiche, ecc. Seguendo questa via il matematico applicato si pone spesso il problema della *generalizzazione*. Che succede se si fanno ipotesi più deboli sui vari dati, sui coefficienti, se si forza il problema matematico ai limiti della sua natura?

Accade spesso che lungo questo percorso ci si allontani in maniera anche sostanziale dall'applicazione originale e ci si avventuri nel dominio dell'«applicabile», attratti dalla bellezza crescente del problema più e più generale.

Niente di male in tutto questo. Non cercate nelle mie parole alcunché di sarcastico o denigratorio. Non sono affatto disposto a rinnegare tanti anni di godimento intellettuale e anche di solido apprendimento, spesi nell'affrontare problemi a frontiera libera per equazioni paraboliche, partendo dalla base «storica» del problema di Stefan (uno schema abbastanza ragionevole, anche se largamente semplificato, per i fenomeni di fusione o solidificazione di sostanze pure) ed esaminando una quantità di possibili situazioni e di varianti matematicamente non banali. Spesso vi corrispondevano applicazioni collaterali, anche interessanti, ma la vera sfida era di scandagliare i confini del problema, le sue patologie, fin dove ci si poteva spingere senza perdere la soluzione in un tempo finito, a quale fenomeno dovesse attribuirsi l'eventuale perdita della soluzione e come poteva regolarizzarsi il problema con qualche criterio «fisico» per impedirne il comportamento catastrofico. Un esempio tipico di come accumulare una conoscenza che probabilmente non ha un riscontro «industriale», ma che risponde all'esigenza insopprimibile per un matematico di riempire gli spazi vuoti. E certo tutto ciò ha non solo piena dignità culturale, ma finisce pure con l'averne una utilità pratica, perché nell'affrontare un problema concreto che presenta chiare similitudini con ciò che avete studiato in modo così approfondito avrete subito una percezione abbastanza chiara della direzione in cui è sensato muoversi.

Il pericolo della matematica «applicabile» è un altro e segna più nettamente il confine tra i due mestieri. Accade a volte che il matematico che ben padroneggia la tecnica X voglia per forza applicarla a un problema Y, che non ne vorrebbe assolutamente sapere. Esordendo candidamente con un «Supponiamo che...», egli vi scrive subito le sue equazioni e va avanti a testa bassa.

Al suo posto il matematico industriale, cui pure piacerebbe applicare la tecnica X perché gli è molto familiare, riconosce che essa è

totalmente estranea alla natura del problema Y, il quale richiede invece la tecnica Z, a lui poco nota. Allora o passa la mano, o si mette a studiare (da solo o con un collaboratore idoneo), ma mai scriverà un lavoro su come affrontare Y con X.

Ma pur restando nell'ambito della matematica applicata «buona» c'è un'altra grossa differenza con la matematica industriale: il numero. Il prodotto finale della matematica industriale è un numero, un grafico, un'animazione; insomma una risposta pratica. E quando andate a mettere i numeri nelle equazioni che conoscete così bene, saltano fuori delle sorprese. Vi accorgete allora magari che quel termine di cui avevate tenuto conto e che rendeva così interessante il problema matematico, proprio lui è del tutto trascurabile! E che invece il vezzo di prendere certi coefficienti uguali a uno ha nascosto dei problemi delicati. E vi trovate tra le mani perturbazioni singolari, strati limite e altre diavolerie che reclamano il ruolo di protagonisti. E così voi che pensavate di conoscere così bene quell'argomento, una volta confrontati coi numeri, vi ritrovate umilmente a ricominciare da capo.

Questa è una delle difficoltà più feroci della matematica industriale, ma naturalmente al tempo stesso uno dei più forti motivi di fascino: non c'è mai nulla di scontato.

Bisogna poi tener presente la natura eminentemente interdisciplinare di questo lavoro. Non solo per il fatto di interagire con una controparte industriale, ma anche sul solo versante matematico, specialmente nei grandi progetti, entrano in gioco in maniera naturale competenze estremamente variegata: oltre alle onnipresenti equazioni differenziali col loro multicolore bagaglio tecnico, si inseriscono spesso probabilità e/o statistica, problemi inversi, ottimizzazione, matematica discreta, ricerca operativa e (invariabilmente) l'analisi numerica con le sue varie specializzazioni. È chiaro quindi che non si può costituire un gruppo di matematica industriale senza una certa massa critica.

Un'altra grossa difficoltà è molto oggettiva: se l'industria vi dà un problema è perché i loro ingegneri, che non sono dei fessi, ci hanno provato e non sono riusciti a risolverlo. Quindi si tratta di roba tosta!

4. – Un'intervista a un celebre matematico industriale.

Arrivati a questo punto mi sono scocciato io di pontificare e mi figuro la noia di chi è arrivato a seguirmi fin qui. Perciò, per ravvivare l'attenzione, ho deciso di cambiare stile e di intervistare ... me stesso, così magari mi sento importante pure io!

Professore, con tutta la sua esperienza lei è certo il più qualificato a insegnarci ...

No, no, no. Fermiamoci subito. Io non insegno un bel niente e quanto al «qualificato», tutti questi anni di matematica industriale mi hanno solo svelato quale incolmabile abisso di ignoranza mi porto appresso. Possiamo al più fare una chiacchierata distensiva a ruota libera.

D'accordo, Professore. Allora le faccio una domanda semplice. Lei sostiene che la matematica industriale è un lavoro di squadra. Ma chi comanda nella squadra: l'ingegnere dell'industria o il matematico dell'Università?

E le pare una domanda semplice? Una cosa è certa. Quando ti presenti ai tuoi interlocutori industriali (saranno quasi sempre degli ingegneri) il più grosso errore che puoi fare è di far capire che «...beh! Ora ci sono io e vi spiego tutto!»

Avete di fronte gente ferratissima, che conosce a fondo le basi fenomenologiche del processo di cui discutete e con la cui esperienza specifica non potete competere.

Mi scusi, Professore, se la interrompo, ma mi viene subito un'altra domanda. Voi andate, che so, in un'industria di polimeri e il giorno dopo in un'industria petrolifera e poi in un'industria tessile o alimentare. Ma come fate a sapere tutto di tutto?

Questa invece è una domanda semplice. In realtà non sappiamo niente di niente. Cioè non proprio, naturalmente, ma bisogna essere

veloci nell'apprendere, nel capire quali sono le cose essenziali in quel particolare problema che vi stanno ponendo. E chi ti può spiegare tutto ciò ce l'hai proprio di fronte. Quindi, anche se ti verrà portato il massimo rispetto, non devi dimenticare che sei tu quello che devi imparare e devi farlo in fretta. Perciò non hai il tempo di spiegare quanto sei bravo, devi invece ingegnarti di fare le domande giuste. E non è un colloquio semplice. In ogni settore industriale si è sviluppato un gergo che per te è una lingua nuova, ma già dopo la prima riunione devi averne imparato i rudimenti.

Dunque è l'ingegnere che comanda la squadra.

Nella prima fase della collaborazione è certamente opportuno che sia così, altrimenti il discorso finirà presto.

Ma non c'è il rischio di mostrarsi ignoranti?

È un rischio calcolato, e poi in prima battuta sei veramente ignorante (alla fine avrai imparato qualcosa, ma non montarti la testa: non sei diventato un esperto). Però non bisogna esagerare. Bisogna mantenere un clima di fiducia, cercando di far domande nella direzione giusta. Bisogna anche ricordarsi che in quella posizione l'ignoranza può rivelarsi la tua arma migliore.

E qui non la seguo, Professore.

Sì, voglio dire, tu ti trovi in mezzo ai massimi esperti, che hanno passato una vita in quel settore, che hanno sulla punta delle dita ciò che tu fatichi a intuire. E questi stanno chiedendo a te di risolvergli il problema. E se tu hai una possibilità di risolverlo è proprio perché parti da zero e, grazie alla tua esperienza di «modellizzatore matematico», potrai fare un percorso che loro non riescono a vedere perché troppo condizionati dalla loro conoscenza minuziosa, dall'aver osservato il problema per troppi anni sempre dallo stesso punto di vista. È solo partendo da lontano e non guardando con i loro stessi occhi eruditi che potrai trovare un'idea nuova!

Ora mi pare di afferrare il concetto. Ma questo gioco le riesce sempre?

Mi è riuscito più spesso di quanto io stesso potessi sperare. Ma il merito non è mio.

Adesso mi ha confuso un'altra volta. E di chi è?

Semplicemente della matematica. Perché le equazioni hanno un linguaggio universale. Quelle che ti sono servite per un problema di dinamica delle popolazioni, magari possono darti un'indicazione su un problema di sedimentazione di particelle solide in una sospensione pompata in una condotta. E se ti sei cimentato con la formulazione di un modello matematico per le crescite tumorali, avrai una buona predisposizione mentale per studiare i processi di polimerizzazione, dove invece che cellule crescono catene polimeriche.

Insomma, più problemi hai risolto e più sei in grado di risolverne.

Giusto, è proprio così che funziona. E dopo un po' il ruolo del matematico nella squadra non sarà più subalterno. E finirà con l'instaurarsi un clima molto stimolante, il più delle volte di sincera amicizia, perché tutti avranno imparato qualcosa e saranno vicendevolmente riconoscenti.

Quindi si tratta infine di una bella esperienza sotto il profilo umano?

Non c'è dubbio. Umano e culturale. E ciò ripaga ampiamente della fatica di impararsi quel poco di chimica, quel poco di fisica, quel glossario; della fatica di lasciare il proprio comodo ufficio e andare a visitare impianti rumorosi, a volte sporchi, col caldo, col freddo, magari sotto la neve. Si trasforma tutto in esperienza e anche in un bellissimo ricordo.

Sì, però non le pare in fondo d'aver cambiato mestiere? Lei se lo può anche permettere, ma i suoi allievi potranno utilizzare questo lavoro per la loro carriera?

Mi fa piacere che me l'abbia chiesto! Certo, agli ingegneri alla fine avrò consegnato un rapporto che non potrà comparire su una rivista di matematica. Ma di matematica ce n'è sempre parecchia. Anzi io accetto di lavorare solo su problemi che hanno questo elevato contenuto matematico, perché faccio comunque il professore universitario e non il consulente industriale. Quindi ognuno di questi contratti è in realtà accompagnato da lavori di matematica di un buon livello.

Tuttavia da qualche tempo ho capito che è necessario anche pubblicare insieme agli ingegneri su riviste di ingegneria, perché quello è il canale per diffondere l'innovazione. Ed è così che abbiamo cominciato a fare.

Senta, lei ha detto che il prodotto finale di una ricerca di matematica industriale è il numero, la simulazione numerica, la visualizzazione. Qual'è in effetti il peso relativo del calcolo scientifico?

Ha sempre una parte importante, ma il peso relativo è variabile. Spesso il codice numerico è richiesto esplicitamente dal contraente e in ogni caso una bella grafica rende il lavoro più credibile. Non dimentichiamoci però che ciò che conta è da una parte l'affidabilità del modello matematico, che vuol dire non solo buona posizione ma anche la correttezza delle scelte fisiche, della selezione delle equazioni; dall'altra conta la qualità del metodo di calcolo numerico. A volte il baricentro sta nella prima parte, a volte nella seconda. Mi lasci anche notare che con una frequenza inimmaginabile, le industrie vengono da noi dopo che si sono accorte che codici acquistati all'estero per cifre esorbitanti e che pretendono di risolvere le situazioni più complesse, si sono rivelati inadatti al loro problema specifico. Allora con due soldi si trovano infine il prodotto che a loro serve davvero.

Ecco. I soldi. Ma quanto costa il vostro lavoro?

Segue le leggi del mercato. E in un mercato superdepresso come quello italiano costa maledettamente poco. Generalmente per noi a Firenze (parlo di I2T3) un contratto ha il costo annuale di un assegno di ricerca, visto che quella è la destinazione dell'incasso. E con tutto ciò è ben difficile ottenere anche quei pochi soldi. Non sto a dirle (non come I2T3, ma a titolo personale) quanti problemi abbiamo risolto per puro interesse culturale, senza che si giungesse a un contratto, semplicemente perché i soldi non c'erano. Già, perché è ben raro che il tuo interlocutore sia quello che può decidere i finanziamenti. Nei grossi enti anche lui deve conquistarsi la commessa al suo interno e il problema si sposta ai vertici, dove i criteri di finanziamento dei progetti sfuggono a noi gente comune. Tuttavia devo dire che lavorando gratis abbiamo inaugurato dei bellissimi filoni di ricerca, cosa che all'interno di un dipartimento universitario ha di per sé un valore notevolissimo. Certo appena si varcano le frontiere i costi salgono di un fattore cinque, se andiamo in strutture che devono finanziare coi proventi dei contratti tutto il proprio personale (e con stipendi ben diversi da quelli italiani) e tutte le proprie spese di gestione. Ma da noi su quelle basi non potrebbe esserci alcun dialogo con le industrie.

Insomma il matematico resta il parente povero del fisico e dell'ingegnere?

E del chimico, aggiungerei. Il matematico italiano sì. È ben risaputo che ad esempio nelle Facoltà di Ingegneria proventi derivati da contratti esterni sono parzialmente ripartiti tra il personale impegnato nei contratti stessi, secondo norme ormai codificate. E non solo per progetti di ricerca, ma anche per operazioni di routine. Noi matematici siamo perennemente in una fase promozionale e quindi volentieri scegliamo di restare «poveri» per salvaguardare quelle poche risorse che si rendono disponibili per i giovani.

Ma questa prospettiva di povertà può essere un motivo per la fuga dei cervelli?

Si parla tanto della fuga dei cervelli dall'Europa verso gli Stati Uniti, ma conosco molti brillanti ragazzi italiani che hanno preferito trovarsi un posto in Germania, in Inghilterra, in Francia.

E quanto dovrà durare, secondo lei, questa povertà?

Almeno un'altra generazione, se ha senso fare previsioni di questo tipo in un mondo che ha raggiunto un grado di instabilità così preoccupante.

Ma per un giovane che prospettive offre la scelta della matematica industriale?

Può rappresentare una salvezza dal sistema universitario, che per quanto riguarda il reclutamento non ha mai conosciuto situazione più umiliante. Trovare uno spazio in uno di questi istituti di consulenza industriale che gravitano nell'ambito di un dipartimento universitario può essere una buona soluzione. Del resto il vero motivo per cui Primicerio ed io ci siamo sobbarcati l'onere certo non piccolo di I2T3 è proprio perché potessero usufruirne i giovani, cui ormai da anni non avevamo più nulla da offrire all'interno dell'Università. È anche un modo per salvaguardare la professione del matematico industriale, perché, diciamoci la verità, il matematico che viene assunto dall'industria viene comandato dall'ingegnere e il più delle volte viene riciclato come ingegnere.

Inoltre non possiamo abbandonare la speranza che anche all'Università le cose finiscano per migliorare; allora i giovani che si trovano ad operare in questa struttura potranno essere in una posizione particolarmente vantaggiosa per riagguantare la carriera universitaria, se lo desiderano.

Chissà quanta gratitudine vi ha dimostrato la vostra Università!

All'inizio abbiamo incontrato molta diffidenza. Forse c'era la percezione che volessimo far concorrenza agli ingegneri, ma poi si è visto anzi che I2T3 passava contratti (quelli non matematici) ad altri dipartimenti e l'Università ha finito per concederci dei locali. Del resto sarà l'Università a ereditare questa struttura e ormai non manca molto.

Al passaggio delle consegne vi faranno una bella festa!

Penso che la parola «grazie» non uscirà nemmeno da un telefono e che anzi dopo pochi anni si perderà anche la memoria di come è nato questo gruppo. Ma non ha alcuna importanza che non ci sia una medaglia al termine di questo cammino. Non bisogna mai attendersi dei riconoscimenti (e tanto meno della riconoscenza). Conta solo che resti un'opportunità per i giovani.

Vogliamo chiudere con una parola di ottimismo?

Certo, i giochi sono aperti. Il nostro potenziale non è certo inferiore a quello degli altri paesi e i successi saranno sempre più numerosi e importanti. Sono certo che la figura del matematico industriale finirà con l'affermarsi anche da noi, tanto da offrire prospettive di carriera alternative (e forse più interessanti) di quella universitaria. È un augurio che faccio volentieri. Per i ragazzi, che se lo meritano.

5. Qualche esempio.

(A) *Libri e convegni.*

Un matematico non può reggere a lungo le chiacchiere e ha bisogno a un certo punto di vedere qualcosa di concreto.

Gli esempi sono molti di più di quel che ci si potrebbe immaginare. Si pensi alle centinaia di problemi esposti nei convegni quadriennali ICIAM, nei convegni biennali ECMI, nei numerosi convegni SIAM e nei convegni periodici delle varie Società di Matematica Applicata e Industriale in Europa (inclusa la nostra

SIMAI). Di molti di questi convegni sono pubblicati regolarmente gli atti.

Tra le iniziative editoriali c'è poi la collana *Mathematics in Industry* della Springer (che include la sottoserie con il logo ECMI), che ha ereditato la vecchia ECMI Series di Teubner. Segnalo in particolare il vol. 2, apparso nel 2003 a cura di V. Capasso, dal titolo «Mathematical Modelling for Polymer Processing» [1], che tratta un argomento molto significativo per la rilevanza industriale e il notevole contenuto matematico.

Una notizia giunta mentre l'articolo era in bozze è l'apertura di una sezione «Surveys» nella rivista *European Journal of Applied and Industrial Mathematics*, che continua una iniziativa avviata da Springer col giornale *Surveys of Mathematics in Industry*, interrotta qualche tempo fa per cause varie.

Ricordo anche nella serie MSSET di Birkhäuser il volume «Complex Flows in Industrial Mathematics» [4] (curato da chi scrive), pubblicato nel 2000, dove sono raccolti sotto tre categorie (Flows in nonlinear materials, Flows accompanied by thermal processes, Nonlinear flows in porous media) diversi esempi di problemi industriali che coinvolgono il movimento di fluidi in circostanze molto complicate (iniezioni di vetro fuso in stampi, il «famoso» problema del caffè espresso, l'estrusione dei polimeri, come si bagnano i pannolini, e tanti altri).

(B) *I «greggi cerosi»: una collaborazione con EniTecnologie.*

E finalmente un vero esempio (uno solo). Ho scelto questo perché è un progetto di grandi dimensioni che si è concluso recentemente con risultati molto concreti e anche sotto certi punti di vista abbastanza sorprendenti. Il lavoro è stato condotto presso I2T3 per conto e in stretto contatto con EniTecnologie (Milano). Naturalmente dovrò essere estremamente conciso e ciò mi costringe a uno stile discorsivo.

I *greggi cerosi* sono oli minerali con elevato contenuto di idrocarburi pesanti, il cui complesso è denominato col generico termine di *cera*. Quando questi fluidi vengono raffreddati al di sotto di una temperatura si formano cristalli di cera che, a temperature ancora più basse, tendono ad aggregarsi fra loro, trasformando tutto il sistema in un gel.



Fig. 1. – Sezione di condotta ostruita da un deposito di cera.

Si capisce quindi che le condizioni termiche influenzano profondamente la reologia del prodotto. Tale fenomeno assume rilevanza essenziale per il trasporto di greggi cerosi in condotte che attraversano regioni fredde (caso tipico delle condotte sottomarine).

La reologia dei greggi cerosi nelle condizioni critiche è stata estensivamente studiata negli ultimi anni (specialmente da L. Fusi, I2T3) ed è riassunta nell'articolo di rassegna [5].

Qui però vogliamo menzionare un problema ancora diverso e ancora più critico che riguarda i greggi cerosi. La fig. 1 mostra la sezione di una condotta praticamente ostruita da un deposito solido. Si tratta di una situazione catastrofica in cui la condotta non è più utilizzabile. Bisogna quindi rispondere a due domande:

(i) perché si forma il deposito?

(ii) come si può programmare una strategia di ripulitura del tubo in modo che lo spessore del deposito non superi un limite prefissato?

In letteratura si trovano varie risposte alla prima domanda, ma la

causa dominante in presenza di un gradiente termico radiale (che si genera appunto pompando un olio caldo in un ambiente freddo) è certamente la diffusione molecolare della «cera» in soluzione.

Per capire questo concetto bisogna premettere che la solubilità della cera nell'olio (ossia la concentrazione di saturazione) dipende vistosamente dalla temperatura (valore tipico: la solubilità aumenta di $\sim 1\text{Kg/m}^3$ per l'aumento di temperatura di 1°K). Quindi un gradiente termico in una soluzione satura genera un gradiente di concentrazione e con esso un trasporto diffusivo del soluto verso la parte fredda. Giunta alla parete fredda la cera cristallizza e forma il deposito.

Qui c'è subito da osservare che questo fenomeno apparentemente semplice (rientra in quella che potremmo chiamare bonariamente «fisica da cucina»), proprio perché rilevante solo in un caso così specifico, non è stato molto studiato. C'è tanta fisica «modesta» nelle applicazioni industriali che è snobbata dai fisici, ma che invece è piuttosto ricca di contenuti matematici ed è pane per i nostri denti, anche se il traguardo non è il premio Nobel.

Il problema matematico che sorge dal trasporto di massa in soluzioni non isoterme è sorprendentemente complicato anche in situazioni statiche. Non solo c'è la frontiera libera rappresentata dal fronte di deposizione, ma dopo un certo tempo la soluzione si desatura a partire dalla parete calda e quindi c'è pure un fronte di desaturazione che si propaga nel sistema. In quest'ultimo stadio abbiamo una regione non satura confinante con una regione satura in cui, oltre al soluto, è presente una fase solida segregata, pure dotata di sia pur debole diffusività. Inoltre le condizioni sul bordo esterno del sistema si formulano in maniera piuttosto complicata (condizioni con vincoli unilaterali, o di Signorini). Questo studio è stato svolto in una geometria generale nell'ipotesi di solubilità non elevata [6] e in una geometria planare in caso di concentrazioni elevate, in cui lo spostamento del soluto induce anche quello delle altre componenti [7].

Avendo ben compreso il fenomeno e la sua natura matematica, abbiamo affrontato il secondo problema, ossia la predizione di crescita del deposito in una condotta, limitandoci al caso di maggior interesse pratico, che è quello del regime turbolento.

Abbiamo quindi ricostruito il profilo di temperatura lungo il tubo

(supponendo di conoscere la temperatura di ingresso dell'olio e la temperatura dell'ambiente esterno). Nel regime turbolento c'è una zona centrale in cui il rimescolamento rende omogenea la temperatura e le concentrazioni di soluto e di fase segregata su ciascuna sezione trasversale; c'è poi uno strato limite, il cui spessore può essere determinato con sufficiente approssimazione sulla base di semplici considerazioni dinamiche, nel quale si ha una transizione al moto laminare. La conduzione del calore e il trasporto di soluto verso la parete fredda avvengono nello strato limite. L'alimentazione della corrente trasversale di cera avviene a spese della fase cristallizzata sospesa nella regione turbolenta. Conoscendo solubilità e diffusività della cera e dopo aver dimostrato che il calore latente della transizione solido-liquido nella regione turbolenta e della transizione liquido-solido sul fronte di deposizione ha influenza trascurabile, si può infine determinare il profilo del deposito in funzione del tempo.

Per rendere il calcolo veloce è possibile stimare a priori su quali tratti di tubo si può approssimare la forma del deposito con una camera cilindrica e suddividere in modo automatico la condotta in tratti in ciascuno dei quali si può sfruttare la simmetria cilindrica.

Il codice risultante dà risultati in tempi brevissimi in ottimo accordo coi dati di campo (anche in questo caso migliori di quelli forniti da un costoso software sul mercato).

Il lavoro però non finisce qui. I parametri essenziali da immettere nel programma sono la solubilità e la diffusività della cera. Come si misurano?

Il metodo più usato è quello di ricostruirli tramite misure di massa di cera depositata in un dispositivo che realizza un gradiente termico controllato in un campione di petrolio.

Il dispositivo consiste in una camera cilindrica con la parete termostata, nella quale si introduce coassialmente un secondo cilindro, mantenuto a temperatura inferiore (fig. 2). Per questo particolare il dispositivo è conosciuto col curioso nome di «cold finger». L'apparato può essere munito di un agitatore. Lo strumento con agitatore ha una regione centrale omogenea e due strati limite vicino alle pareti, nei quali ha luogo il trasporto di calore e della cera in soluzione che va ad alimentare il deposito.

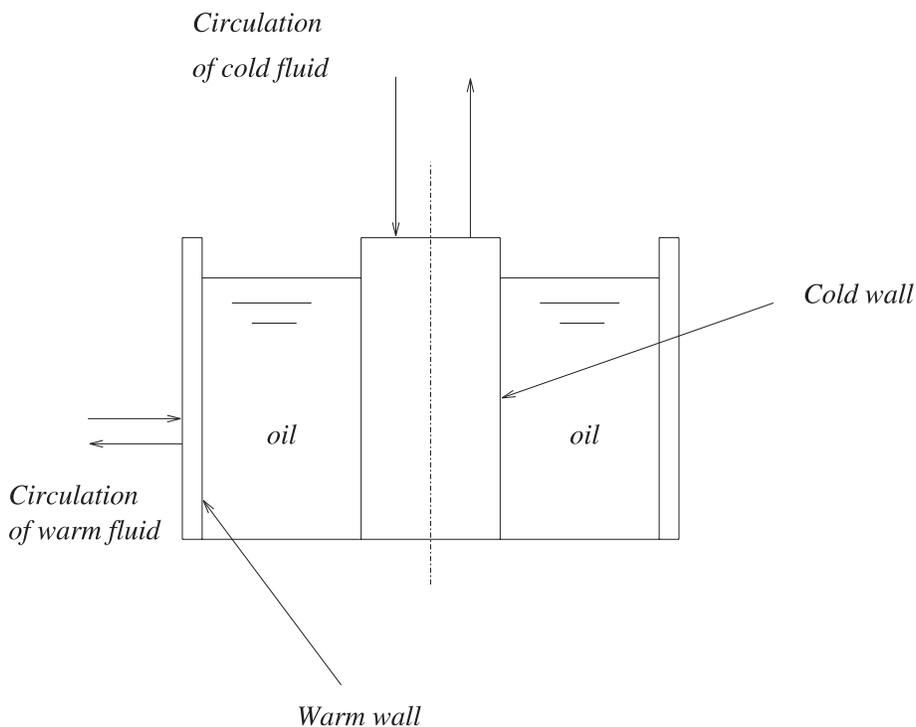


Fig. 2. – Schema dell'apparato «cold finger».

Si potrebbe pensare che lo studio piuttosto approfondito di cui prima ho riferito renda piuttosto semplice l'interpretazione dei dati del cold finger, ma non è così, per una serie di motivi.

In molti casi i dati sperimentali si riferiscono a tempi di deposito troppo brevi rispetto a quanto bisogna attendere per raggiungere praticamente i valori asintotici (un tempo che non è noto a priori), la cui conoscenza è invece indispensabile per trovare la dipendenza della solubilità dalla temperatura. Occorre allora escogitare un metodo standard di estrapolazione per fare il miglior uso possibile della serie di dati disponibili.

Una volta superati questi ostacoli si può finalmente risalire alla diffusività, ma qui si trovano altre sorprese: il dispositivo statico tende a sovrastimare notevolmente la diffusività (specie alle basse temperature), quello agitato ha invece il difetto opposto.

A tali comportamenti contribuiscono diversi fenomeni sia di tipo termico, sia di tipo dinamico, ma anche, soprattutto, il fatto che la «cera» ha in realtà una composizione complessa. Accade così che, ad esempio, abbassando la temperatura si finisce per osservare solo la diffusività delle frazioni più mobili, almeno nel caso statico, perché quelle più pesanti vengono immobilizzate.

Ne scaturiscono indicazioni su come migliorare lo strumento o in ogni caso di migliorare il modo di interpretare i risultati, eseguendo ad esempio simultaneamente misure del flusso termico, che nel caso agitato forniscono un'informazione diretta sullo spessore degli strati limite. I risultati sulla condotta e sul cold finger verranno pubblicati nei lavori [2], [3].

In conclusione abbiamo visto un processo industriale di notevole rilevanza economica che offre estesissime possibilità di studio: la fisica sottostante (flussi di Bingham con parametri dipendenti dalla storia dinamica, trasporto di massa in soluzioni non isoterme), la matematica che ne scaturisce (problemi ai valori iniziali e al contorno per sistemi di equazioni paraboliche con varie frontiere libere e complesse condizioni al contorno), gli aspetti industriali (studio della deposizione di cera in condotta) e sperimentali (cold finger).

E alla fine di questo percorso il povero matematico (che resta un matematico povero) riesce non solo a dire qualcosa di utile per la gestione degli impianti, ma pure a mettere il naso nel laboratorio e spiegare agli ingegneri qualcosa sui loro strumenti che non si trova nella pur copiosa letteratura sperimentale.

E non vi pare una bella soddisfazione?

BIBLIOGRAFIA

- [1] V. CAPASSO, editor, *Mathematical Modelling for Polymer Processing*, Mathematics in Industry 2 (ECMI), Springer (2003).
- [2] S. CORRERA - A. FASANO - L. FUSI, *Predicting deposit formation in the pipelining of waxy crude oils*, Sottomesso a Meccanica.

- [3] S. CORRERA - A. FASANO - L. FUSI - M. PRIMICERIO - F. ROSSO, *Determining diffusivity of a waxy crude oil by means of the apparatus known as «cold finger»*, in preparazione.
- [4] A. FASANO, editor, *Complex Flows in Industrial Processes*, MSSET, Birkhäuser (2000).
- [5] A. FASANO - L. FUSI - S. CORRERA, *Mathematical models for waxy crude oils*, in stampa su Meccanica.
- [6] A. FASANO - M. PRIMICERIO, *Heat mass transfer in non-isothermal partially saturated solutions*, Recent trends in Mathematical Physics, P. Fergola, F. Capone editors (2004), in stampa.
- [7] A. FASANO - M. PRIMICERIO, *Temperature driven mass transport in concentrated saturated solutions*, Trends in Partial Differential Equations for mathematical Physics, J.F. Rodrigues editor, in stampa.
- [8] M. LUNTZ, *Les Mathématiques dan l'Industrie*. In «*Les Grands Courants de la Pensée Mathématique*» (Fr. Le Lionnais), Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, Paris 1948, 505-508.
- [9] N. PAROLINI - A. QUARTERONI, *Simulazione numerica per la Coppa America di vela*, Boll. UMI, Sez. A, Ser. VIII, 7 (2004), 1-15.
- [10] M. ROY, *Les Mathématiques et l'Ingenieur*. In «*Les Grands Courants de la Pensée Mathématique*» (Fr. Le Lionnais), Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, Paris 1948, 501-504.

Antonio Fasano, Dipartimento di Matematica «U. Dini»
Viale Morgagni 67/a, 50134 Firenze, Italy