Prolusione

del Socio nazionale RODOLFO ZICH
per la cerimonia inaugurale del 231° anno accademico

Ambienti di Calcolo Evoluto: come cambiano ricerca e didattica

Signor Presidente, Illustri ospiti, cari consoci, Signore e Signori, permettetemi innanzitutto di esprimere la mia gratitudine per l'occasione che mi viene offerta di riflettere sugli **Ambienti di Calcolo Evoluto** (ACE) stiano connotando fortemente il processo evolutivo del modo di far ricerca e del modo di fare insegnamento.

Un ambiente di calcolo evoluto è caratterizzato dalla copresenza di un motore di elaborazione simbolica e da un motore di elaborazione numerica.

La elaborazione numerica è sempre stata intrinseca ai calcolatori. Di converso, la manipolazione simbolica prima dell'avvento degli ACE era tutta manuale, compito esclusivo del ricercatore e terreno di formazione dello studente. Gli ACE rivoluzionano lo scenario: assieme alla grande potenza di calcolo (motore di elaborazione numerica) estendono l'uso del calcolatore alla manipolazione simbolica offrendo librerie di algebra computazionale di grande efficacia e *routines* di rappresentazione di grande qualità.

Esempi ben noti di ACE sono MATLAB, MAPLE e MATHEMATICA che alla fine degli anni '70 e negli anni '80 nascono in ambiente universitario e che negli anni '90 si impongono sul mercato, rivoluzionando il calcolo automatico con una continua e pervasiva espansione che investe il mondo della ricerca accademica (il solo MATLAB è usato in oltre cinquemila università tra cui le duecento più rinomate), il mondo della ricerca industriale, il mondo delle professioni.

Espansione che investe trasversalmente i domini applicativi dall'ingegneria alla fisica, dalla chimica alla farmaceutica, dal bio tech alla medicina, dalle scienze della vita all'ambiente, dalle scienze sociali all'economia, all'analisi linguistica, etc. Espansione che dà origine a vastissime comunità di pratica, in forma di reti di interscambio di documenti, esempi realizzati, segnalazioni di problemi, suggerimenti di soluzioni, attraverso diversi meccanismi tra cui forum di discussione, *wikis*, *repositories*: ne risulta l'accessibilità ad una mole impressionante di materiale in continua crescita quantitativa e qualitativa ed in continuo aggiornamento.

Come nascono i manipolatori simbolici?

L'area scientifica di competenza è riconoscibile sotto il nome di *Symbolic Computation*, *Computer Algebra* e/o correlati. Peraltro, come ci ricorderebbe il nostro Presidente Alberto Conte non senza un pizzico di compiacimento, la elaborazione simbolica molto deve alla Geometria Algebrica, di cui egli è Maestro e alla quale tanto ha dato sul piano della ricerca e dell'insegnamento.

In effetti nello studio delle «varietà algebriche», capitolo della Geometria Algebrica, nasce la teoria delle «Basi di Gröebner» a partire dalle tesi di Dottorato, nel 1965, del matematico austriaco Bruno Buchberger. Le basi (polinomiali) di Gröebner permettono di affrontare con grande efficienza sistemi di equazioni polinomiali non lineari e costituiscono il fondamento della «Computer Algebra» e della manipolazione simbolica.

Per analizzare l'impatto sulla ricerca degli Ambienti di Calcolo Evoluto, mi avvalgo di tre esempi di cui, a vario titolo, ho avuto visibilità nel corso della mia attività. Esempi che riguardano:

- la diffrazione elettromagnetica (Politecnico);
- la «fontana di Cesio» (INRiM);
- i ricevitori Galileo (ISMB).

In molti ambiti scientifici, come sappiamo, esistono alcuni «problemi sfida» che hanno lungamente resistito, o stanno ancora resistendo, allo sforzo dei migliori ricercatori.

Nell'ambito dell'elettromagnetismo uno dei problemi «sfida» più longevi è stato il problema della diffrazione da un diedro penetrabile, cha ha rilevanza anche in acustica, idrodinamica, frattura dei materiali, etc.

Ci troviamo di fronte essenzialmente ad un problema di matematica applicata concernente la determinazione del campo in presenza di una sorgente in una geometria con forte discontinuità. Si assume il materiale lineare per cui non è restrittivo avere come sorgente un'onda piana monocromatica con direzione caratterizzata da δ e Φ (fig. 1).

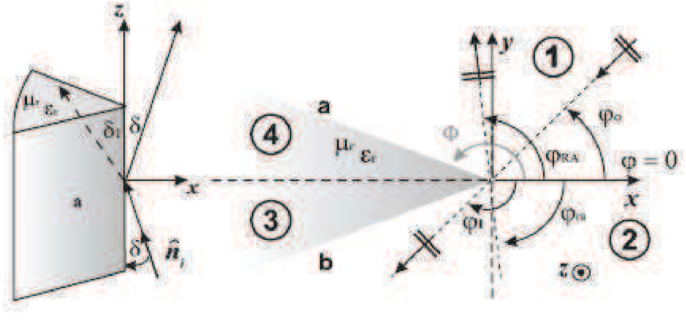

Fig. 1. Diffrazione elettromagnetica da diedro.

L'estrema difficoltà del problema ha stimolato moltissimi studiosi: a partire dalla fine dell'Ottocento la diffrazione da diedro è stato studiata da centinaia di illustri matematici, fisici, ingegneri.

Gli sforzi di tanti scienziati, oltre a produrre avanzamenti graduali sul cammino della soluzione, hanno determinato notevoli progressi nei metodi numerici di soluzione delle equazioni alle derivate parziali e soprattutto l'ideazione di nuovi metodi analitici, che per la loro profondità e genialità costituiscono vette della ricerca scientifica.

Premettiamo che le difficoltà del problema del diedro non finiscono con l'ottenimento, ove possibile, di una soluzione formale perché poi molto lavoro è richiesto per rendere questa soluzione generatrice di risultati fisicamente interpretabili e ciò richiede sia l'utilizzo di piattaforme di calcolo numerico estremamente efficienti, sia di elaborazioni analitiche molto complesse.

Dobbiamo dire che gli inizi furono molto promettenti: a quattro anni di distanza, Poincarè (1892) e Sommerfeld (1896), risolvono in forma esatta, con due metodi completamente differenti, il problema del semipiano perfettamente conduttore, ovvero il caso limite del problema del diedro con $\Phi = \pi$.

La soluzione di Poincarè non è altro che una applicazione del classico metodo di separazione delle variabili e non avrà molta fortuna: la fase di interpretazione «fisica» dei risultati, la loro gestibilità, risulteranno di fatto impraticabili in quanto il campo ad alta frequenza risulta espresso da serie lentamente convergenti, molto onerose, se non impossibili, da valutare con assegnata accuratezza anche quando si ricorra a sofisticate tecniche analitiche di accelerazione.

La soluzione di Sommerfeld invece presenta caratteristiche di originalità e genialità. Viene costruita riformulando il problema in uno spazio riemaniano a due falde sovrapposte, separate/connesse dal semipiano diffrangente: si configura come un integrale (Integrale di Sommerfeld) che nel problema originale del semipiano è valutabile in forma chiusa in termini di funzioni speciali.

Il metodo di Sommerfeld – oggi chiamato di Sommerfeld / Maliuzhinets dopo i fondamentali contributi di Maliuzhinets alla fine degli anni '50 – si è dimostrato estensibile ad alcuni casi più generali (il diedro perfettamente conduttore ($\Phi < \pi$) e il diedro confinato da superfici di impedenza), mantenendo la caratteristica di una buona gestibilità interpretativa della soluzione che, sempre espressa come integrale, è valutabile asintoticamente con il metodo del «punto di sella».

Ciò aprirà negli anni '60 ad un importantissimo capitolo della diffrazione: la GTD (*Geometric Theory of Diffraction*) di Keller.

Una annotazione curiosa: la bellezza del metodo di Sommerfeld, secondo alcuni studiosi, tra cui il citato Keller, ha, di fatto, rallentato per almeno cinquant'anni il conseguimento di progressi radicali nella diffrazione perché moltissimi scienziati si sono accaniti a cercare di forzare il metodo a casi più complessi, dove lo stesso di fatto non funziona (non produce risultati interpretabili e gestibili).

In effetti il *break through* avverrà nella evoluzione della Tecnica Wiener – Hopf nelle applicazioni ai problemi di diffrazione in geometrie con brusca discontinuità, interfaccia di due regioni semifinite con caratteristiche propagative differenti.

Norbert Wiener ed Edmund Hopf nel 1931 affrontano l'equazione integrale di tipo convoluzionale su dominio seminfinito:

$$\int_0^\infty g(x-x')f(x')dx' = f_o(x), \quad 0 < x < \infty$$

Dove $f_o(x)$ (nota) ed $f(x)$ (incognita), possono essere scalari o vettori, per cui il kernel $g(x)$ (noto) risulterà scalare o matriciale, rispettivamente. Senza entrare nei dettagli del metodo, l'equazione WH, viene riformulata come

$$\int_{-\infty}^\infty g(x-x')f(x')dx' = f_o(x) + y(x), \quad in \ -\infty < x < \infty$$

$$\text{con } f(x) = f_o(x) \quad \text{in } \ x < 0$$

dove l'estensione del campo di integrazione (e di definizione della EQ) a tutto l'asse reale comporta l'introduzione di una nuova incognita $y(x)$ nulla in $x > 0$ questo permette, nel dominio di Fourier, di avere

$$G(\alpha)F_+(\alpha) = F_{o+}(\alpha) + Y_-(\alpha)$$

dove il suffisso + o - indica funzioni analitiche regolari rispettivamente nel semipiano $\mathrm{Im}[\alpha] > 0$ e $\mathrm{Im}[\alpha] < 0$ Il risultato notevole che si ottiene è che le due incognite $F_+(\alpha)\ e\ Y_-(\alpha)$ possono essere determinate con l'unica equazione che abbiamo a disposizione.

La carta vincente è considerare le singolarità presenti in queste funzioni. Peraltro Tricomi diceva: «Se volete sapere come è fatta una funzione analitica, domandatele quali sono le sue singolarità».

L'idea geniale avuta da Wiener e Hopf, fu quella di fattorizzare il kernel $G(\alpha) = G_-(\alpha)G_+(\alpha)$ in modo che le fattorizzanti $G_-(\alpha)\ e\ G_+(\alpha)$ (con le loro inverse) abbiano singolarità rispettivamente nel semipiano $\mathrm{Im}[\alpha] > 0$ e $\mathrm{Im}[\alpha] < 0$. Con questa fattorizzazione è facile riscrivere l'equazione in termini di uguaglianza tra due membri, uno regolare nel semipiano inferiore e l'altro in quello superiore: ne consegue la possibilità di ottenere simultaneamente le due funzioni incognite $F_+(\alpha)\ e\ Y_-(\alpha)$.

Tale procedimento da luogo alla tecnica WH che a distanza di ottanta anni rimane uno strumento estremamente importante per affrontare analiticamente moltissimi problemi in una vastissima varietà di aeree di ricerca che include diffrazione di onde elastiche, elettromagnetiche, acustiche, la crescita dei cristalli, la meccanica delle fratture, i modelli di diffusione, applicazioni geofisiche, la matematica finanziaria, la teoria delle reti elettriche e così via, e gli ambiti di applicazione continuano a crescere.

Il ruolo centrale è la **fattorizzazione del kernel** $G(\alpha)$ che si sa risolvere esplicitamente se è una funzione scalare: questo è il caso del sempiano conduttore $\Phi = \pi$ la cui soluzione WH compare nel 1946.

Tuttavia, appena si affrontano casi un po' più generali, le equazioni diventano vettoriali e il kernel $G(\alpha)$ diventa una matrice quadrata.

I tentativi per ottenere una fattorizzazione esplicita sono stati moltissimi: attualmente sono fattorizzabili alcune classi di matrici, in particolare quelle delle matrici che hanno elementi costituiti da funzioni razionali di $G(\alpha)$ e quelle delle matrici che commutano con una specifica matrice polinomiale $P(\alpha)$ (oggetto del problema ed ammesso che si riesca ad individuare).

Ciò ha portato alla possibilità di risolvere alcune tipologie quali semipiano con superficie di impedenza e diedri retti impenetrabili arbitrari

Nel caso del diedro penetrabile non esiste allo stato attuale una fattorizzazione esplicita al di là di alcuni casi particolari (materiali isorefrattivi, doppiamente negativi).

L'approccio vincente si ha negli anni 2005/2012 ed è dovuto a Vito Daniele, che l'Accademia ha giusto ora chiamato tra i soci corrispondenti. Si articola nelle seguenti fasi:

1. La deduzione dell'equazioni Wiener Hopf generalizzate (EWH).
2. Fattorizzazione con riduzione dell'EWH a Equazioni Integrali di Fredholm di II tipo (EIF).
3. Soluzione numerica dell'EIF per ottenere un elemento analitico dello spettro assiale.
4. Prolungamento analitico dello spettro assiale.
5. Valutazione asintotica e interpretazione fisica dei risultati.

Questo percorso, per le elaborazioni simboliche necessarie e per l'esigenza di calcolo numerico, non sarebbe affrontabile senza un potente ambiente di calcolo evoluto, che nella fattispecie è stato MATHEMATICA.

In particolare in tutti i passi precedenti intervengono funzioni polidrome che possono essere estremamente complesse. Calcolare il ramo corretto di una funzione polidroma complicata può costituire un problema assai difficile da gestire che può comportare alti rischi di errore. Si pensi che addirittura l'eccelso Sommerfeld nel problema di terra piana (1909) sopravvaluta l'onda superficiale per un errore di scelta del ramo di una funzione polidroma. MATHEMATICA definisce in modo automatico il ramo principale di qualsiasi funzione polidroma e se si rimane coerenti con la definizione non si creano ambiguità e non si commettono errori.

Il tema è tanto più rilevante in quanto nelle fasi 1 e 2 si debbono gestire ben sette piani complessi in relazione tra di loro.

Gli altri fattori che hanno reso indispensabile l'utilizzazione di MATHEMATICA riguardano:

I. La mole e la delicatezza delle elaborazioni analitiche, a partire dall'inversione di matrici con elementi espressi da funzioni molto complesse dipendenti da molti parametri, sino all'onerosissimo processo di riduzione delle EWH in EIF.
II. La mole di elaborazioni numeriche nella valutazione dei campioni dello spettro assiale.
III. La numerosità e complessità delle azioni di verifica, su casi test, della validità sia delle EWH che delle EIF.

Il secondo esempio nasce dall'attività INRIM sulla unità di misura del

Tempo, il «Secondo», che è oggi definita su una particolare proprietà dell'atomo di Cesio: la frequenza della transizione iperfine dello stato fondamentale del Cesio imperturbato, frequenza che è 9,192……GHz, definita all'Hertz.

La realizzazione migliore del Secondo è ottenuta attraverso gli orologi atomici detti a fontana di Cesio. In fig. 2 vediamo la fontana criogenica dell'INRIM, una delle due esistenti al mondo, che realizza il campione nazionale di tempo in Italia con un'accuratezza relativa di 2×10^{-16}. Nel riquadro troviamo il cuore dell'orologio: la cavità a microonde.

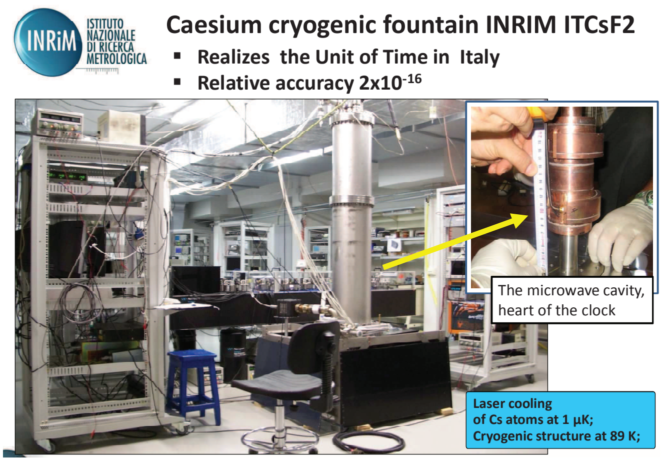

Fig. 2. Laboratorio INRIM – Fontana di Cesio.

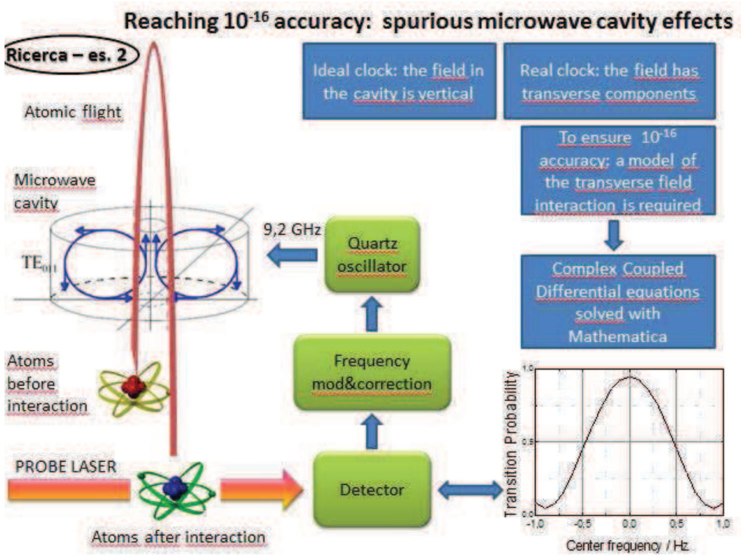

Fig. 3. Simulazione della Fontana di Cesio.

Ma come funziona una fontana al Cesio? Una radiazione laser raffredda circa un milione di atomi di Cesio fino alla temperatura di 1 μK. La radiazione laser è generata nel tavolo ottico che si vede sullo sfondo, mentre gli atomi sono raffreddati all'interno della struttura d'acciaio sotto ultra alto vuoto in primo piano. A quel punto gli atomi sono abbastanza freddi e lenti da consentire la realizzazione di un orologio molto preciso (assenza di spostamento Doppler, lungo tempo di interazione, …).

Vediamo il dettaglio della cavità (fig. 3). Per realizzare l'orologio, gli atomi raffreddati sono lanciati in un volo balistico: durante il volo, attraversano due volte una cavità a microonde dove interagiscono con la radiazione microonde generata a partire da un oscillatore al quarzo.

Se la frequenza del segnale a microonde è esattamente 9,192…GHz, gli atomi cambiano il loro stato quantico e un laser di probe rileva questo cambiamento. La figura mostra il risultato della rivelazione; quando la frequenza microonde non è esattamente 9,192… GHz, la probabilità della transizione diminuisce. In questo modo si ha una discriminante per agganciare la frequenza del quarzo a quella della transizione atomica.

In un orologio ideale, nella cavità a microonde esiste soltanto un campo EH con componente magnetica verticale; nella realtà, esistono anche componenti trasverse del campo. Per raggiungere la più alta accuratezza possibile, è necessario modellizzare l'interazione tra gli atomi e le componenti trasverse. Questo non è banale, poiché implica la soluzione di un sistema complesso di equazioni differenziali accoppiate (equazioni di Maxwell-Bloch).

Mathematica permette di affrontare il problema e di realizzare un *simulatore* cavità / fascio, fondamentale nella progettazione per valutare e quindi minimizzare gli effetti spuri legati alle componenti trasverse dei campi elettromagnetici sulla risonanza principale.

Una volta realizzato l'orologio, nella fase operativa, il simulatore è indispensabile per interpretare gli effetti spuri residui e per correggerli prima della valutazione finale del budget complessivo degli errori.

Questo permette di garantire l'accuratezza al livello di 10^{-16} nella realizzazione dell'unità di misura del tempo.

Il terzo esempio deriva dall'attività dell'ISMB sulla architettura dei ricevitori per la navigazione satellitare (Galileo). Una delle frontiere della ricerca attuale su ricevitori per la navigazione satellitare, è la loro *robustezza ad «attacchi»* esterni che possono essere *non intenzionali* (è il caso di interferenze elettromagnetiche generate dalla presenza di servizi di comunicazione terrestre su bande adiacenti a quella dei segnali satellitari GNSS, dalle armoniche dei trasmettitori del segnale TV digitale terrestre, da famiglie di radar usati in aeronautica, etc…), oppure *intenzionali* (fig. 4), realizzati con generatori ad hoc di segnali elettromagnetici col fine esplicito di bloccare la ricezione del segnale GNSS (il cosiddetto *jamming*) o, peggio, indurre in errore il calcolo di posizione e tempo compiuto nel ricevitore (il cosiddetto *spoofing*).

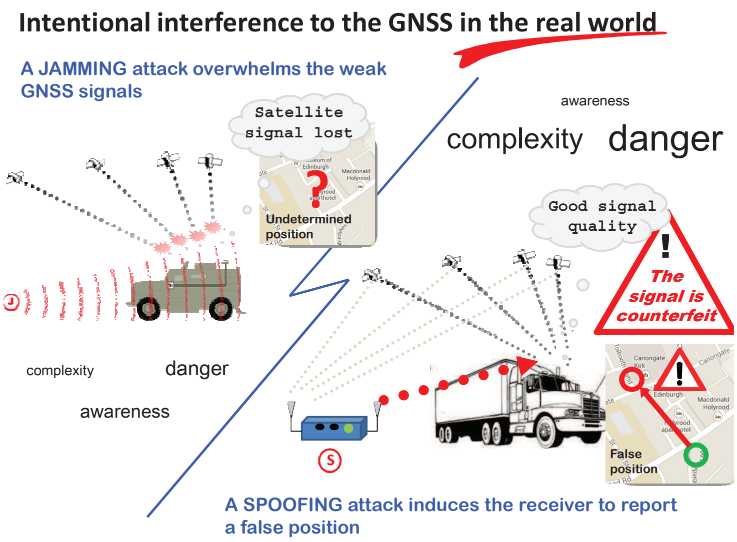

Fig. 4. Schematizzazione di attacchi *jamming* e *spoofing*.

L'area di ricerca «Navigation Technologies» dell'ISMB ha affrontato lo studio delle caratteristiche dei segnali per la navigazione satellitare, degli algoritmi per la loro elaborazione nei ricevitori numerici e infine l'analisi degli effetti di attacchi di *jamming* e *spoofing*, facendo ampio uso di simulatori sviluppati in ambiente Matlab, affiancati allo studio teorico dei problemi, algoritmi e prestazioni attese. Quindi ancora SIMULAZIONE, ma non solo perché in questa attività è necessario un ulteriore passo.

L'analisi e la comprensione degli effetti che gli *attacchi* hanno sul funzionamento del ricevitore, considerato separatamente nei suoi singoli sottosistemi, è la prima e fondamentale fase per l'ideazione e il progetto di *contromisure algoritmiche* efficaci per riconoscere e possibilmente mitigare gli attacchi stessi. Questo è stato possibile realizzando in ambiente MatLab un *emulatore* (fig. 5) del sottoinsieme in banda base che, inserito nella catena ricevente tra la parte in alta frequenza e i dispositivi di visualizzazione, permette di realizzare un *ricevitore aperto*, in cui tutti i cosiddetti «stati osservabili» sono realmente accessibili. Costruendo con ciò il banco di prova capace di rappresentare «off line» tutte le operazione che verrebbero compiute da un ricevitore vero in real-time. Su tale ricevitore aperto è possibile analizzare il comportamento degli algoritmi di contromisura, valutando le prestazione complessive ottenibili in ricezione.

Mi auguro che gli esempi, che se pur sommariamente ho presentato, diano la percezione dell'impatto che gli ACE hanno sul mondo della ricerca, nella sofisticatezza della attività di elaborazione simbolica come nella potenza dell'elaborazione numerica, nella possibilità di realizzare complessi ambienti di simulazione come di costruire raffinati emulatori.

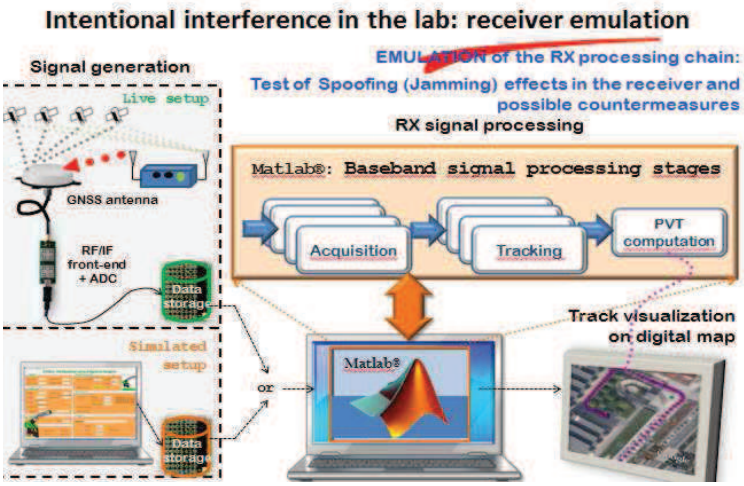

Fig 5. Simulazione del sistema di rilevamento attacchi ed emulatore per sottosistema RX.

Cambia il modo di fare ricerca: fino ad un paio di decenni orsono vi era una distinzione piuttosto netta tra elaborazione simbolica, competenza peculiare del ricercatore, e elaborazione numerica su calcolatore.

Ora le cose stanno diversamente. Oggi il calcolatore investe lo spazio dell'elaborazione simbolica e il ricercatore può focalizzare la sua creatività sulle strategie di soluzione sempre più interrelate con le opzioni praticabili nel contesto dell'elaborazione simbolica e numerica. Contesto quindi che entra nel cuore del problema nella logica del *Computational Thinking*.

Veniamo ora al mondo della didattica dove la situazione è più variegata e presenta un gran numero di sperimentazioni di nicchia che quasi mai raggiungono massa critica per incidere significativamente sul sistema formativo nazionale. Sperimentazioni che possono investire la mera dimensione didattica della lezione / esercitazione in cui il calcolatore e l'ACE complementano, si sovrappongono, estendono l'efficacia della lezione tradizionale, oppure −più raramente− possono investire anche la dimensione del processo formativo ed il rapporto docente/discente.

Incominciamo dal livello universitario: anche in Italia assistiamo ad una progressiva diffusione dell'uso degli ACE soprattutto nei corsi di indirizzo, nelle attività di tesi, negli studi di dottorato.

Nello scenario spicca quanto ha fatto e sta facendo l'università di Torino, dove il Dipartimento di Matematica, ha costruito un'offerta formativa in un AMBIENTE DI APPRENDIMENTO basato sull'integrazione di MAPLE (in verità di MAPLE SUITE ovvero Maple, MapleNET, MapleTA) con MOODLE. Scelta fondata sul fatto che:

- MAPLE è un ambiente di calcolo evoluto fortemente orientato alla didattica.
- MOODLE è, allo stato attuale, la piattaforma più efficiente di gestione / condivisione di contenuti e di attività didattica.

L'integrazione Moodle/Maple Suite ha oggi caratteristiche uniche in quanto permette la distribuzione del materiale didattico; l'esecuzione di fogli di lavoro interattivi (senza la necessità di avere una copia del programma nel proprio computer); la somministrazione in classe e a distanza di test e verifiche di (auto) valutazione a risposta aperta in quanto il manipolatore simbolico dell'ACE consente la correzione automatica della risposta essendo in grado di verificare se sussista uguaglianza semantica tra differenti espressioni matematiche.

Questo ha indotto una reale discontinuità nella concezione e nella pratica del processo formativo che si esplica oltre che nella «classe fisica» anche nella «classe virtuale in rete» senza vincoli di tempo e di spazio.

In un Ambiente di Apprendimento con tali caratteristiche, la proposta didattica può contare in ogni fase di attività sulla potenza di elaborazione simbolica e numerica dell'ACE, offerta all'utente anche in remoto e sulla integrazione analisi / simulazione/ presentazione che è propria degli ACE.

Cambia il rapporto docente/ discente in quanto il docente, oltre alle usuali responsabilità in merito a contenuti e percorsi di apprendimento, si trova a poter esercitare, sul singolo e sulla classe, una più impattante funzione di supervisione, monitorando in continuità l'avanzamento delle conoscenze apprese e delle abilità maturate; reindirizzando eventualmente i percorsi anche personalizzati di apprendimento; arricchendo la base di documentazione accessibile ad ogni studente in termini di esempi, suggerimenti, risposte a quesiti, contributi complementari, etc; creando un forum di discussione in cui si può intervenire ponendo domande e/o dando risposte e in cui si può stimolare l'interazione cooperativa tra studenti.

L'Università di Torino, che già dal 2007 ha portato a regime il sistema, gestisce oggi 600 insegnamenti in 27 corsi di laurea, l'attività di 350 docenti e di 7000 studenti.

Diverso è il quadro della fascia formativa pre-universitaria, cioè dell'Area dell'Istruzione Secondaria di Secondo Grado (ISSg), che presenta una serie di criticità che conviene considerare in toto anche nelle loro interazioni.

Lo scenario evidenza:

– debolezza nella preparazione degli studenti ad affrontare problemi in termini quantitativi;
– natura quasi esclusivamente disciplinare dell'impianto formativo;
– larga prevalenza di un approccio didattico a discendere dal generale (teoria) al particolare (applicazioni troppo spesso confinate in un ruolo ancillare);
– correlazione lasca tra la formazione scolastica e la cultura del mondo del lavoro;
– ritardo dell'impatto delle ICT nei contenuti e nell'organizzazione delle attività formative.

Quest'ultimo aspetto ha dell'incredibile perché nessuno nega la potenzialità nei processi formativi delle tecnologie informatiche. Eppure siamo di fronte ad un «paradosso informatico» in quanto:

- Le ICT, nella loro valenza abilitante dell'innovazione, stanno cambiando la vita del cittadino e il modo di lavorare delle persone.
- Nelle aule sono entrati i «nativi digitali», portatori di una notevole conoscenza implicita degli strumenti, dei prodotti informatici e delle metodologie di accesso all'informazione (Digital Literacy).

- La tecnologia offre connettività crescente, vertiginosa diffusione di dispositivi portatili con prestazioni in crescita continua, disponibilità libera o a basso costo di applicazioni di elaborazione dati sempre più sofisticate, disponibilità di potenti piattaforme di interazioni tra utenti.

Ma nella scuola è cambiato assai poco.

È bene sottolineare che la preoccupazione per la debolezza dell'insegnamento dell'informatica come scienza concerne l'Europa nel suo complesso, tant'è che il *Report of the joint Informatics Europe & ACM Europe Working Group on Informatics Education April 2013* dall'emblematico titolo *Informatics education: Europe cannot afford to miss the boat* recita testualmente:

> «without effective informatics teaching, a serious risk exists that Europe becomes a mere consumer of technologies designed elsewhere».

Se la situazione Europea è critica, cosa dire dell'Italia in cui addirittura l'informatica non ha dignità disciplinare nei licei classici e scientifici?

Nello specifico ci troviamo di fronte ad una situazione di debolezza complessiva della formazione sia matematica, sia informatica.

Con delle differenze tra la filiera tecnica e quella dei licei tradizionali.

Negli Istituti Tecnici sono previsti corsi disciplinari di informatica e gli ACE vengono utilizzati anche se in ambiti molto specialistici: non mancano margini di miglioramento della qualità della formazione soprattutto in termini di cultura di base scientifica, di flessibilità transdisciplinare, di sinergia con la formazione matematica.

Per contro, nei Licei Classici e Scientifici (ad eccezione dell'indirizzo Scienze Applicate) non esistono insegnamenti di Informatica e gli ACE sono presenti solo in qualche lodevole caso grazie a qualche generoso e illuminato insegnante.

Questo è il contesto in cui è stato lanciato il progetto «Problem Posing and Solving» (PP&S) del MIUR, Direzione Generale Ordinamenti Scolastici, ed in cui ha origine l'azione «Computational Thinking e Problem Solving: il futuro della Matematica e Informatica nell'istruzione secondaria» che l'Accademia delle Scienze di Torino ha promosso nel quadro del progetto «I Lincei per una nuova didattica nella scuola: una rete nazionale».

I due progetti, condividono l'analisi delle debolezze dell'attuale sistema formativo e del quadro delle opportunità che, a fronte della discontinuità informatica, possono essere colte per promuovere una rilevante rivisitazione del processo formativo.

Hanno natura sinergica ancorché distinta. Il PP&S è un *progetto di sistema* che avvia e intende presidiare il percorso di cambiamento del processo formativo nella Istruzione Secondaria Superiore di secondo grado (ISSsg) e che oggi opera sul secondo biennio della ISSsg mobilitando 150 scuole, 300 docenti 12.000 studenti, avendo per altro l'obiettivo di investire gradualmente tutto il sistema ISSsg.

Il Progetto PS&CT ha *natura metodologica* ed intende rafforzare la consapevolezza della proponibilità dell'approccio Problem Solving a partire dal primo biennio della ISSsg predisponendo prototipi di percorsi formativi che investano l'informatica come scienza.

Entrambi i progetti pongono il «problema» al centro della revisione del processo formativo.

I due punti focali del disegno complessivo sono:

– la necessità di potenziare la formazione informatica nella sua dimensione scientifica (Computer Science e non solo *Digital Literacy*);
– la necessità di far crescere congiuntamente, enfatizzandone le sinergie, la formazione matematica e quella informatica in una logica di *Problem Solving* e *Computational Thinking*.

Quanto al primo punto, entrambi i progetti menzionati mirano a creare le condizioni perché si arrivi rapidamente ad una riforma degli ordinamenti che inserisca l'obbligatorietà di due corsi di Informatica nel primo biennio dei licei classici e scientifici che sviluppino le basi concettuali della Computer Science e del *Problem Solving* investendo tutte le fasi di definizione e risoluzione di un problema, vale a dire: astrazione, modellazione, costruzione di algoritmi, struttura dei dati, approccio alla programmazione con l'introduzione di un linguaggio *general purpose* e di un ACE.

Quanto al secondo punto, il *Problem Solving* è una cultura eminentemente inter transdisciplinare che trova proprio nella transdisciplinarietà della matematica e dell'informatica i suoi assi portanti.

È bene ricordare che, prima dell'avvento dell'informatica, la matematica, cultura fondante della dimensione quantitativa nello studio del «fenomeno» come nell'analisi del «problema», è stata strumento transdisciplinare per eccellenza nello studio delle scienze: tuttavia questa specificità non è stata mai valorizzata appieno se è vero che tutti i ranking internazionali collocano l'Italia in grave ritardo quanto alla capacità degli studenti, e non solo loro, di gestire la dimensione quantitativa della conoscenza nei diversi domini.

L'informatica, che porta nella transdisciplinarietà le competenze di modellazione e l'adozione di linguaggi e logiche comuni, ha la potenzialità, non solo di promuovere un forte arricchimento dell'apprendimento della matematica, ma anche di costruire con la matematica stessa un ambiente di grande efficacia in cui rappresentare, modellare, analizzare problemi, investendo la dimensione della simulazione di componenti, sistemi, processi e nonché della emulazione di sottoinsiemi per l'analisi di nuovi scenari e la validazione di nuove soluzioni progettuali.

Gli *Ambienti di Calcolo Evoluto* si pongono proprio come terreno di crescita e come fondamento di questa nuova cultura informatico-matematica che è motore del *Problem Solving* & *Computational Thinking* componente formativa da affiancare all'attuale impostazione disciplinare.

Dare al «problema» un ruolo significativo nel processo formativo, permette di affrontare molte delle criticità che si riscontrano nella formazione della scuola secondaria.

Innanzitutto il problema − quando non sia mero strumento di acquisizione e verifica di tecnicalità disciplinare come oggi è in gran parte dell'insegnamento della matematica, fisica, etc. − investe la dimensione interdisciplinare o direttamente in relazione alla sua natura o sul piano dell'approccio metodologico.

Questo è un punto di grande rilevanza perché la complessità della realtà, fisica e sociale, propone sfide, attiva processi, richiede professionalità di impronta transdisciplinare piuttosto che multidisciplinare.

Specializzazione delle competenze e crescita delle specificità disciplinari sono certamente di grande rilevanza nello sviluppo delle conoscenze, ma dobbiamo sempre più investire sull'ibridazione dei saperi disciplinari e creare cultura transdisciplinare superando l'accusa «Il mondo ha problemi, le Università hanno Dipartimenti» coniata nelle comunità degli esperti delle politiche della ricerca, che nel nostro contesto, potremmo rifrasare «Il mondo ha problemi, la scuola insegna discipline».

Una didattica *Problem Solving* infine realizza anche un ponte importante verso il mondo del lavoro che permette di costruire un diverso rapporto tra lo stesso e la scuola anche stimolando una funzione propositiva a partire da esempi di «problemi», che si possono identificare nelle attività e nei processi aziendali e che sono proponibili nel nuovo contesto formativo.

Il *Problem Solving* e il *Computational Thinking* immettono nel processo formativo una cultura metodologica «costruita» sul problema visto come opportunità per preparare i soggetti a sviluppare e gestire conoscenze e abilità in termini di astrazione, modellazione, strategia di attacco, analisi critica, capacità di scelta.

Il percorso è in fondo abbastanza standardizzato. La prima fase è quella di identificare il «problema» all'interno di una situazione di relazioni implicite tra fattori, dati minacce, obiettivi.

È la fase della *astrazione* che trasforma la percezione dell'esistenza di un problema nella *definizione del problema*, identificando gli elementi essenziali, le relazioni fondamentali, i dati indispensabili, le tipologie dei risultati attesi.

Da qui la *modellazione*, che deve permettere la rappresentazione del problema a diversi livelli di dettaglio, in termini di partizioni strutturali le quali siano affrontabili con specifiche metodologie di analisi che portino a soluzioni computazionali.

A seguire infine:

- lo sviluppo degli algoritmi;
- la scelta dell'ambiente /linguaggio informatico;
- la realizzazione di un ambiente di simulazione;
- l'analisi dei casi, il controllo dei risultati, la scelta delle soluzioni;
- l'attivazione di eventuali revisioni del processo (feedback).

Premesso che l'ampia varietà di problemi non analizzabili in termini matematici potrà essere affrontata, sempre in logica PS, in ambienti software e con linguaggi di uso generale (Python,……), il vastissimo insieme di problemi di matrice matematica trova negli ACE un ambiente in grado di alimentare la crescita della cultura metodologica PS degli studenti lungo tutto il percorso formativo della Secondaria Superiore.

Dai temi proponibili nel primo biennio: il calcolo dei numeri primi all'interno di un intervallo, esempi elementari di crittografia, i paradossi di Zenone, il calcolo di π, l'analisi di dati statistici, possono essere riformulati in termini di problemi su cui esercitare la logica PS, piuttosto che essere proposti in termini di conoscenza codificata.

Per poi nel triennio investire analitica, trigonometria, analisi, sino ad arrivare alla costruzione di modelli di simulazione per la visualizzazione e lo studio di fenomeni fisici, per l'esame di problemi di maggiore complessità che possono essere individuati nell'area scientifica, nel contesto socio economico, nei temi ambientali, etc.

Con poche istruzioni Maple uno studente può essere in grado di costruire un ambiente di simulazione per la gravitazione, studiare la tipologia di orbite e la correlazione tra parametri (Keplero), ma anche divertirsi ad esplorare un universo virtuale in cui la dipendenza della forza attrattiva dalla distanza non fosse del tipo r^{-2} .

Esempio coerente con gli intendimenti della Accademia Nazionale dei Lincei, laddove prefigura «una didattica che faccia partecipare attivamente gli studenti alla riscoperta delle leggi fondamentali della natura».

Ciò porta a sottolineare che la potenzialità degli ACE, nella realizzazione di ambienti di simulazione, ha aperto l'importantissimo spazio dei *laboratori virtuali* che prefigurano una profonda rivoluzione in gran parte degli insegnamenti tecnico / scientifici superando in buona misura le esigenze di fisicità delle strutture nelle attività di misura e dimostrazione.

Arrivando alle conclusioni, penso che possiamo convenire che la «discontinuità informatica», nel cui contesto sono nati e cresciuti gli ACE, è occasione irripetibile per il nostro sistema nazionale formazione/ ricerca per rientrare nell'alveo del *mainstream* europeo di crescita delle competenze a sostegno dei processi di trasformazione che le grandi sfide sociali impongono.

Dall'insieme di azioni che vengono prospettate, discende la capacità di costruire una tipologia di processo formativo che deve permettere di garantire ai nostri giovani all'atto dell'ingresso nel mondo del lavoro:

- una preparazione informatica più matura;
- una significativa componente formativa interdisciplinare;
- una maggiore capacità a pensare in termini quantitativi;
- una attitudine a ragionare per problemi;
- una attitudine a lavorare in rete con logiche cooperative.

Il che significa voler assicurare ai giovani un profilo culturale e professionale più coerente con le attese del mondo del lavoro e più robusto rispetto all'ineludibile processo di revisione / crescita delle conoscenze cui saranno soggetti nella loro vita lavorativa.