

IL CONTRIBUTO DI ROBERTO CONTI ALLA TEORIA MATEMATICA DEI CONTROLLI

Roberto Conti ha dato importanti contributi in vari campi dell'Analisi Matematica. Il mio intervento intende concentrarsi, in particolare, su quella parte dell'attività scientifica di Roberto Conti che rientra nell'ambito della teoria matematica dei controlli. Al di là di quelli che sono i contributi scientifici, di cui dirò più avanti, per dare un'idea di quello che Roberto Conti ha rappresentato per lo sviluppo della teoria matematica dei controlli in Italia (e non solo) basterebbe ricordare che:

- Conti è stato il primo matematico ad interessarsi, in Italia, alla teoria dei controlli, ha stimolato altri ad interessarsene, ed ha creato una scuola;
- Conti è stato il primo (e, credo, l'unico) in Italia titolare di una cattedra di *Teoria matematica dei controlli* dal 1/11/79 fino al momento della collocazione fuori ruolo;
- Conti è stato coordinatore di un progetto di ricerca ministeriale (40%) nel quale hanno collaborato sia ricercatori di formazione matematica che ingegneri.
- Conti è autore di tre monografie sul controllo, che sono ancora oggi fonte di materiale prezioso, oggetto di consultazione e di numerose citazioni.

La teoria dei controlli, così come la concepiamo oggi, risulta dalla confluenza di due grandi correnti scientifiche.

Una è il calcolo delle variazioni, storicamente radicato nella matematica ma che si è via via arricchito di nuove problematiche (penso ai metodi di ottimizzazione e alle tecniche della programmazione lineare e della programmazione dinamica sviluppate negli anni a cavallo della seconda guerra mondiale).

L'altra è costituita dall'ingegneria dei sistemi, della quale fanno parte in particolare il controllo automatico e la teoria dei segnali. Si tratta di una disciplina relativamente giovane: essa tende a costituire una cornice teorica unificante ed un quadro metodologico nel quale trovano una loro collocazione naturale tutta una serie di problematiche che, pur appartenendo alla tradizione ingegneristica, sono state applicate con successo in molti altri campi (dall'economia alle scienze della vita, dalla biologia all'ecologia) e si sono rivelate decisive per lo sviluppo delle nuove tecnologie. L'ingegneria dei sistemi si avvale in maniera determinante di strumenti matematici - essenzialmente riconducibili alla teoria dei sistemi dinamici e delle equazioni differenziali - per

la modellizzazione dei sistemi fisici, per l'analisi delle loro proprietà qualitative, per la loro simulazione, e per la progettazione dei dispositivi che servono per il loro controllo.

Quindi, da un lato il calcolo delle variazioni, dall'altro le equazioni differenziali: campi nei quali Conti si era formato e aveva svolto un intenso e importante lavoro nella prima fase della sua attività di ricerca.

Cronologicamente, la prima testimonianza "ufficiale" dell'interessamento di Roberto Conti verso la teoria dei controlli è costituita da una coppia di lavori apparsi il primo sugli *Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei*¹ e il secondo su *Journal of Differential Equations*².

Siamo agli inizi degli anni '60. Sono gli anni della guerra fredda, nei quali le grandi potenze, il blocco americano e il blocco sovietico, si fronteggiano. Uno dei terreni sui quali la competizione - intesa anche come esibizione del proprio potenziale organizzativo, militare e tecnologico - si fa più serrata è quello della conquista dello spazio. Le grandi potenze investono molto sia in termini politici che in termini economici, ed indirizzano fortemente la ricerca scientifica. Le imprese spaziali pongono anche nuovi problemi matematici che hanno, spesso, a che fare con la teoria dei controlli e con la teoria della stabilità. Sia sul fronte americano che su quello sovietico, molti grandi matematici che avevano affinato competenze nel campo della teoria delle equazioni differenziali ordinarie o nel campo del calcolo delle variazioni, vengono attratti verso questi nuovi orizzonti. Pochi nomi per tutti:

- Antosiewicz, uno che a Firenze ci è venuto spesso, pubblica un lavoro nel 1963 sulla rivista *Arch. Rat. Mech. Anal.*;
- Lefschetz, pubblica un libro su stabilità e controllo nel 1965, con Academic Press;
- LaSalle, pubblica un contributo importante per la Princeton University press sul problema del tempo minimo nel 1960;
- Krasovskii, pubblica un articolo sulla regolazione ottimale nel 1957 su *Automation Remote Control*;
- Kurzweil pubblica un articolo sul Bollettino del Politecnico di Iasi nel 1960 sui processi di controllo lineari;

¹R. Conti, *Sul problema della controllabilità di un sistema lineare*, *Atti Accad. Naz. Lincei*, Rend. Cl. Sci. Fis. Mat. Natur. (8) 37 (1964) 146-149.

²R. Conti, *Contributions to Linear Control Theory*, *J. Diff. Eq.s* 1 (1965) 427-445

- Pontryagin e il suo gruppo (Boltyanskii, Gamkrelidze, Mishchenko) pubblicano il celebre libro sulla teoria matematica dei processi ottimali nel 1961.

Conti, come sanno tutti quelli che hanno avuto occasione di interagire con lui, seguiva sempre con grande attenzione gli sviluppi della letteratura scientifica. E, come ben sanno tutti quelli che sono stati suoi studenti, Conti conosceva molte lingue: l'inglese (ovviamente), il francese, ma anche il russo. Non è quindi sorprendente che anche Conti abbia percepito questi fermenti e sia stato stimolato a dedicarsi alla teoria dei controlli.

All'interessamento di Roberto Conti verso la teoria matematica dei controlli non è probabilmente estranea la presenza a Firenze, tra la fine degli anni '50 e l'inizio degli anni '60 di Nicholas Minorsky. Lascio la parola allo stesso Conti che, nel necrologio di Giovanni Sansone³ scrive:

“Alla fine degli anni '50 si stabilì anche una collaborazione con Nicholas Minorsky per la preparazione di rapporti annuali sulla teoria dei controlli per conto dell'Office of Naval Research della Marina degli Stati Uniti. Minorsky, pensionato della Stanford University ed universalmente noto per i suoi brillanti e pionieristici contributi alle applicazioni della matematica alla Meccanica non lineare, passò molta parte degli ultimi anni della Sua lunga vita a Firenze, visitando frequentemente l'Istituto Matematico.”

Il primo di questi rapporti era apparso nel 1960, col titolo *Continuously acting control systems*, il secondo nel 1961, col titolo *Discontinuous control systems*. Il terzo, preparato, come si legge nella prefazione, durante i soggiorni di Minorsky ad Aix-en-Provence e a Firenze, compare nel 1962. Porta il titolo *Special problems of control theory* e l'indicazione esplicita: “with the assistance of Giovanni Sansone and Roberto Conti”.

Ma che cosa era per Conti la Teoria dei controlli? Facciamocelo dire da lui stesso. Nel 1973, si svolge a Siena, per iniziativa dell'Unione Matematica Italiana, un convegno sui *Rapporti tra ricerca matematica pura e ricerca matematica applicata*. Conti è uno dei relatori⁴:

“Da diversi anni nella letteratura matematica ricorrono con sempre maggior frequenza i termini “programmazione” e “controllo ottimale”.

³Bollettino UMI (1981)

⁴R. Conti, *Problemi matematici della teoria dei controlli ottimali*, Atti del convegno *Rapporti tra ricerca matematica pura e ricerca matematica applicata* pubblicati a cura dell'UMI, 1973, pag. 30

Questa terminologia di origine applicativa (economica la programmazione, fisico-chimica la teoria dei controlli) si riferisce ad una vasta classe di problemi di minimo per un funzionale reale (“costo”) su un insieme assegnato (definito dai “vincoli”): le diverse accezioni dipendono dalla natura del funzionale e dell’insieme oltre che dal significato che l’uno e l’altro hanno nei problemi concreti. Una sola parola, “ottimizzazione” viene spesso usata per indicare tutto questo complesso di problemi tra i quali rientrano anche quelli classici del Calcolo delle Variazioni e della Teoria della migliore approssimazione.

Nonostante la loro applicabilità i problemi di ottimizzazione richiedono un vasto substrato teorico che interessa, spesso in profondità, molti campi centrali della matematica, dall’Analisi funzionale all’Algebra, alla Teoria della misura, al Calcolo delle Probabilità.”

Sembra quindi essere il problema del controllo ottimo che attira maggiormente le attenzioni di Conti; può quindi apparire strano constatare come invece le sue ricerche si indirizzino, almeno nella fase iniziale, verso il problema della controllabilità. Guardando alla produzione scientifica di Conti nell’ambito della teoria matematica dei controlli, un’altra caratteristica che colpisce è l’interesse certamente non esclusivo, ma comunque prevalente, verso i sistemi lineari. Anche questo può apparire strano, soprattutto se si tiene conto del fatto che, in precedenza, Conti si era dedicato a lungo alla teoria delle equazioni differenziali non lineari, e della rilevanza che già allora in tutto il mondo, molti autori riconoscevano agli aspetti non lineari dei problemi di controllo. In realtà tutto ciò è indice del modo di affrontare la ricerca che era tipico di Roberto Conti: risalire sempre alle origini, alle radici dei problemi. È ben noto infatti che il problema della controllabilità è preliminare al problema del controllo ottimo. E per quanto riguarda la predilezione verso i problemi lineari, io ricordo di avergli sentito più volte ripetere: “Bisogna prima capire bene il caso lineare”. Del resto, a guardar bene, il suo modo di affrontare i problemi lineari era in realtà molto poco “lineare”. Come lui stesso dice nel già citato lavoro apparso sul JDE, dopo aver fatto vedere che il problema della controllabilità può essere formulato come un problema algebrico in dimensione infinita:

“However, we prefer to follow a different approach of a geometrical or, rather, set-theoretical nature, used by various authors and best illustrated in a recent paper by Antosiewicz, to which the present contribution is largely inspired, Such an approach has the advantage of being applicable also to problems, such as approximate controllability, whose nature is essentially nonalgebraic.”

In un arco di tempo che va fino a oltre la metà degli anni '80, Conti pubblicherà circa venticinque articoli sulle proprietà dell'insieme raggiungibile, sui processi di controllo lineari normali, sul problema del tempo minimo, sul principio del Bang-Bang. I risultati contenuti in questi articoli si riferiscono spesso, come abbiamo già osservato, a sistemi lineari in dimensione finita o infinita, ma talvolta anche ai sistemi bilineari ed anche al controllo dell'equazione di Van der Pol.

Una menzione a parte meritano le tre monografie delle quali ho già fatto cenno all'inizio:

- *Problemi di controllo e di controllo ottimale*, UTET 1974
- *Linear Differential Equations and Control*, Institutiones Mathematicae I INdAM, Academic Press 1976
- *Processi di controllo lineari in R^n* , Quaderni UMI 30, Pitagora Editrice, 1985

Vorrei anche segnalare il Capitolo 8 del Volume sulle *Equazioni Differenziali Non Lineari* pubblicato nel 1974 con Reissig e Sansone, dedicato al cosiddetto problema di Lur'e, che si ricollega alla teoria dei controlli attraverso lo studio di un problema di stabilità.

Non è questa naturalmente la sede per entrare in ulteriori dettagli tecnici. Piuttosto, vorrei far cenno ad alcuni indizi nei quali mi sono imbattuto mentre mettevo insieme il materiale per questo mio intervento, e che mi sembrano rivelatori di aspetti significativi della personalità di Conti. Per esempio, come interpretava e quale senso cercava nella sua stessa attività di ricercatore. Il suo era certamente un atteggiamento da matematico, ma da matematico che non dimentica mai le motivazioni e la natura applicata del suo lavoro.

Questa attenzione verso le applicazioni è una costante che si avverte anche nell'attività di organizzazione e promozione della ricerca. Roberto Conti, oltre che punto di riferimento per i tanti ricercatori che da tutto il mondo ha fatto venire a Firenze, è stato organizzatore e animatore di molti convegni: tra questi vorrei significativamente ricordare la *Fifth IFIP Conference on Optimization Techniques* (Roma, 7-11 Maggio, 1973), i cui atti formano i volumi 3 e 4 della serie *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, co-organizzato insieme ad Antonio Ruberti, allora professore ordinario di Teoria dei sistemi, poi rettore dell'Ateneo Romano, quindi ministro dell'Università e della ricerca.

Ma c'è in particolare un'occasione nella quale Conti illustra il suo pensiero sulla ricerca. Si tratta di una manifestazione, promossa nel giugno del 1978, dal comune di Venezia, a sostegno dei movimenti culturali che si opponevano alla

dittatura militare allora al potere in Uruguay. Conti viene invitato a parlare di José Luis Massera⁵. Nel suo intervento⁶ Conti scrive:

“Matematica, per molti, vuol dire scienza astratta. Quando non è basato sul sentito dire, tale giudizio deriva, di solito, dal ricordo di un insegnamento che si è dovuto sopportare per il conseguimento di un qualche diploma. Da ciò deriva la convinzione, altrettanto diffusa, che il matematico sia portato, almeno quando esercita la propria attività ad escludersi dal mondo circostante per immergersi in una sorta di divertimento spirituale simile al gioco degli scacchi. Queste convinzioni, tuttavia, restano scosse di fronte alla constatazione che realizzazioni di grande effetto come le applicazioni sempre più strabilianti dell’elettronica, l’uso, pacifico e non, dell’energia atomica, i viaggi spaziali ecc., non sarebbero possibili senza lo strumento matematico.

Altro motivo di disorientamento dell’opinione corrente è il dover constatare che tra i matematici si trovano di frequente persone fortemente interessate dai problemi della natura, delle arti e della convivenza civile.

In effetti la matematica è nata ed ha la sua motivazione costante dall’esigenza umana di dare un ordine alle cose, esigenza che, ovviamente, è tanto più sentita da chi più intensamente partecipa alla realtà esterna. L’astrazione, cioè la ricerca di modelli e leggi generali, non è che un mezzo per soddisfare questa esigenza di interpretare razionalmente la realtà.”

E, più avanti:

“Non esistono due matematiche, una pura e una applicata, ma esistono matematici nei quali la tendenza estetica, creativa di nuove forme e modelli, prevale su quella volta a sperimentare su determinati problemi pratici l’adeguatezza dei modelli e l’efficacia dei metodi.”

Mi avvio alla conclusione leggendovi un ultimo brevissimo passo. Nella prefazione al già citato volume *Problemi di controllo e di controllo ottimale* Conti scrive:

⁵Massera era stato in Italia nel 1954, proprio per iniziativa di Conti e di Sansone, ed aveva tenuto un corso in ambito CIME, fondamentale per la diffusione in occidente della teoria della stabilità. Dopo il colpo di stato del 1973 Massera passa alla clandestinità ma viene arrestato nel 1975. Verrà rilasciato solo nel 1984, grazie anche alla forte pressione della comunità scientifica internazionale. Massera, scomparso nel 2002, rappresenta ancora oggi in Uruguay una specie di simbolo della libertà riconquistata.

⁶pubblicato sul Notiziario UMI 1978

“La redazione del volume è durata molto più a lungo del previsto principalmente a causa della sempre minore disponibilità di tempo che la vita universitaria concede al lavoro scientifico.”

Conti, come sapete, nel corso della sua carriera si è assunto vari incarichi, tra cui la direzione dell'allora istituto di matematica U. Dini, la direzione del GNAFA (allora gruppo del CNR), la direzione del CIME. Dalle parole che vi ho letto si comprende come queste attività gli pesassero, ma non si è mai sottratto, nella convinzione che la vita accademica richiede l'assunzione di responsabilità diverse.

Come non si è mai sottratto all'insegnamento, cui anzi si dedicava sempre con grande impegno e passione. Lo testimoniano i suoi scritti didattici, a cui mi capita di ricorrere ancora oggi per consultazione, dalle opere a stampa alle innumerevoli versioni delle dispense dei cicli di seminari e corsi di alto livello che teneva quasi tutti gli anni.

Anzi, il ricordo più vivo che conservo di Conti, confesso che non è tanto quello del maestro che mi ha fatto da guida mentre, da apprendista, cercavo di avviarmi al mestiere della ricerca, quanto quello del mio professore di Analisi Matematica. Indimenticabili le battute grazie alle quali, nel suo bellissimo parlare fiorentino, riusciva al momento giusto a dare l'idea, a far capire i concetti più delicati, a gettare un fascio di luce sui passaggi più complessi e involuti.

Tutto questo va a comporre una grande eredità matematica, ma soprattutto culturale e umana, che Conti ci ha lasciato.

Firenze, 13 Novembre 2006