

Il Centro di studio per l'Interazione Operatore Calcolatore (CIOC-CNR)

Flavio Bonfatti, Giacomo Bucci, Virginio Cantoni, Paolo Tiberio

INTRODUZIONE

Il CIOC-CNR (Centro di Studio per l'Interazione Operatore-Calcolatore) fu formalmente costituito il 1° luglio 1970 presso la Facoltà di Ingegneria di Bologna sulla base di un accordo fra il Consiglio Nazionale delle Ricerche e l'Università. Per il suo orientamento verso lo studio dell'interazione uomo-macchina il Centro fu inserito sino dall'inizio nel Gruppo Nazionale di Cibernetica del CNR (poi Gruppo Nazionale di Cibernetica e Biofisica). La nascita del CIOC fu promossa dal prof. Ivo De Lotto che dal 1962, con l'aiuto del Prof. Emilio Gatti, aveva creato una unità di ricerca CNR del Gruppo di Nazionale di Cibernetica presso il Politecnico di Milano, trasferendola poi a Bologna nel 1968. Allo stesso tempo aveva iniziato le pratiche per trasformare l'unità di ricerca in Centro del CNR. La richiesta fu istruita dal Comitato Nazionale per le Scienze Fisiche e approvata alla fine del 1968. Il Centro, con l'aiuto del Prof. Ercole De Castro, iniziò formalmente la sua attività il 1 luglio 1970. Visti i temi trattati, il Centro passò poi al Comitato per le Scienze di Ingegneria ed Architettura del CNR.

I Centri del CNR prevedevano la compresenza di personale dello stesso CNR e di personale distaccato dall'Ente ospitante, per cui, al momento della costituzione, vennero messi a disposizione dal CNR due ricercatori e due tecnici, mentre l'Università di Bologna distaccò cinque assistenti e un borsista. L'Università fornì anche la sede e il CNR garantì, nei primi cinque anni, la dotazione finanziaria.

Dato il tipo di attività che si intendeva svolgere nei primi anni '70, la strumentazione era costituita soprattutto da apparecchiature di calcolo. In particolare vi erano due minicalcolatori: un HP2116b ed un LABEN 70, dotati della periferia standard e di memoria di massa, oltre che di terminali grafici tra cui uno storage tube 4010 della Tektronics per lo studio dei problemi di interazione uomo-calcolatore. L'HP2116 fu usato soprattutto come terminale remoto attivo del calcolatore CDC 6600 del CINECA (Centro di Calcolo Interuniversitario dell'Italia Nord-Orientale) ed il LABEN 70 come strumento per l'analisi e l'elaborazione di segnali analogici. Il Centro ha svolto un'ampia e differenziata attività scientifica di riconosciuto valore internazionale, ma essendo ospite di un Istituto Universitario, ha anche collaborato all'attività didattica, sia con incarichi di insegnamento che con partecipazione alle attività culturali.

Per il tipo di lavoro svolto e per la natura delle competenze che vi si formarono, il Centro contribuì all'organizzazione di seminari e congressi sia in Italia che all'estero.

Il filo conduttore della attività di ricerca fu sempre orientato verso il problema dell'interazione uomo-calcolatore, visto in parte teoricamente, ma soprattutto attraverso significative applicazioni. Ciò ha procurato ben presto al Centro una chiara collocazione nel contesto scientifico del tempo.

Da questo tema principale sono derivati gli studi sulla struttura del sistema di calcolo più adatto per l'interazione, la sua analisi e sperimentazione, sulla struttura e la gestione di banche dati e sui mezzi per una valida interazione con l'utente. Le applicazioni riguardarono in particolar modo la progettazione assistita dal calcolatore, soprattutto nel campo elettronico e numerico.

De Lotto, nel corso del 1971, diventò professore ordinario di Calcolatori Elettronici alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pavia, mantenendo comunque la direzione del Centro fino al 1975. Successivamente la direzione passò al prof. Paolo Tiberio (1976-1983), poi al prof. Flavio Bonfatti (1984-1991) ed infine al prof. Oreste Andrisano (1992-1995).

Nel '72 fu creata a Pavia presso l'Istituto di Elettronica una sezione staccata del Centro che rimase collegata alle attività di Bologna fino alla seconda metà degli anni '70.

L'attività scientifica della sezione di Pavia ha riguardato prevalentemente l'elaborazione di segnali. L'attività svolta a Bologna era orientata all'interazione uomo-calcolatore e dall'inizio degli anni '80 in poi si estese più generalmente alla gestione dell'informazione.

Dalla fine degli anni '70 in poi, tutti i suoi ricercatori della "prim'ora" del Centro, per motivi di carriera o di opportunità personale, hanno progressivamente deciso di migrare presso altre istituzioni universitarie. Negli anni '90, pur rimanendo una forte componente di ricerca sulle basi di dati ed i sistemi informativi, le tematiche prevalenti riguardavano le telecomunicazioni e dal '92 la denominazione del centro cambiò in CSITE (Centro di Studi sui Sistemi di Informatica e TELEcomunicazioni), che poi, nel 2001, entrò a far parte dello IEIIT (International Educational Institute of Information Technology) di Bologna.

Con questa relazione si vuol ripercorrere in sintesi tutta l'attività del Centro nell'Informatica, considerando in modo particolare il periodo dal '68 al '75 che noi, del gruppo iniziale di ricercatori, chiamiamo "gli anni del CIOC eroico", quando iniziò in Italia il grande sviluppo della ricerca in Informatica. E' giusto anche ricordare che tutti i giovani ricercatori di allora si trovarono a lavorare con tecnologie arcaiche e difficili da usare ed affrontarono la sfida sostenuti dall'entusiasmo per la ricerca e dal forte interesse per la nuova disciplina.

ATTIVITA' DEL PERIODO 1970-1975

In questo periodo le attività del Centro hanno riguardato soprattutto:

- la realizzazione del collegamento remoto di un minicalcolatore e il supercalcolatore CDC 6600 del CINECA (1);
- la realizzazione di un sistema per la sperimentazione e l'utilizzo dell'interazione operatore-calcolatore in vari settori applicativi (2);
- la realizzazione e la sperimentazione di un sistema per il CAD di circuiti elettronici (3);
- la realizzazione di un sistema per lo studio, la simulazione e la progettazione di reti di code di servizio (4);
- la realizzazione e la sperimentazione di un sistema per l'elaborazione di segnali in biomedicina (5);
- la gestione della strumentazione integrata in sistemi complessi (6).

Sono tutte attività che hanno portato alla realizzazione di un ambiente d'interazione operatore-calcolatore adeguato per la sperimentazione delle nuove tecnologie con riferimento ai settori applicativi nei quali operava l'ambiente di ricerca in cui il centro era collocato, con particolare attenzione per la progettazione assistita. In questo periodo il Centro, oltre che con ambienti universitari e del CNR, ha svolto proficue collaborazioni con il CISE e con varie aziende, in particolare con l'Olivetti e la Telettra.

ATTIVITA' DEL PERIODO 1976-2005.

L'attività di ricerca dal 1976 in poi si svolse a Bologna, in particolare in collaborazione con i Dipartimenti afferenti alla Facoltà d'Ingegneria e con alcuni Centri di Ricerca di altre sedi italiane, in particolare il CNUCE di Pisa, con le Università dove si sono trasferiti ricercatori del Centro (Università di Modena-Reggio Emilia, Università di Firenze, Università di Pavia) e presso laboratori esteri con i quali sono state avviate collaborazioni e dove i ricercatori del CIOC furono ospitati (Laboratori IBM di Yorktown Heights e di S. Jose, Polytecnic of Central London, Università di Brno, New York University, Università del Michigan di Ann Arbor, USA Defense Dept.)..

Qui si descrivono brevemente i temi affrontati; per maggiori dettagli sui risultati, le persone e le pubblicazioni si può fare riferimento al libro pubblicato da Amazon Libri: "Il Centro di Studio per l'Interazione Operatore Calcolatore".

I temi delle attività sono stati:

- l'allocazione ottimale delle risorse nei sistemi paralleli e distribuiti **(7)**;
- l'ottimizzazione combinatoria in settori della ricerca operativa **(8)**;
- le ricerche nel campo delle basi dati relazionali **(9)**;
- la collaborazione con la Regione Emilia Romagna sui sistemi informativi geografici**(10)**;
- la progettazione concettuale di basi di dati **(11)**;
- le basi di dati temporali **(12)**;
- l'Information retrieval **(13)**;
- la business intelligence ed il data warehouse **(14)**;
- i sistemi biometrici e il riconoscimento di impronte digitali **(15)**.

Sono settori di ricerca nei quali il Centro ha dato numerosi contributi scientifici accolti sulle principali riviste internazionali.

CONCLUSIONI

Il CIOC venne fondato in un'epoca che non si esagera a definire "preistoria" dell'informatica. Per i ricercatori che ne fecero parte dall'inizio, quasi tutti neolaureati, il fatto che l'informatica fosse agli albori costituiva un valido motivo per avviarsi alla carriera universitaria, in quanto faceva intravedere un ampio campo di manovra, e la prospettiva, non trascurabile, di possibili posizioni future. Al tempo stesso, però, essi non potevano contare su una scuola ben consolidata, come era il caso di altre discipline, compresa l'Elettronica. Del resto, il famoso libro di D. Knuth "*The art of computer programming*" era apparso solo nel 1968. Lo stesso Knuth era di poco più anziano (5-6 anni) della maggior parte dei ricercatori del CIOC. In altre parole, toccava a questi ultimi tentare di costituire una scuola (anche se questo obiettivo era lungi dai loro pensieri), o qualcosa che le somigliasse, o comunque di creare un ambiente informatico nel contesto dell'Istituto di Elettronica, al quale il CIOC afferiva. Quasi tutti i ricercatori del centro sono stati anche membri dell'Istituto di Elettronica, in qualità di assistenti o professori. Entro l'Istituto erano gli unici a occuparsi di Informatica. Se si esclude De Lotto, non potevano appoggiarsi a colleghi più anziani, con conoscenze specifiche sulle problematiche con le quali essi avevano a che fare. De Lotto ebbe il grande merito di motivarli e di indicare loro argomenti di ricerca rilevanti e di definire settori di attività di sicuro interesse.

Era l'epoca in cui il CNR stabiliva collaborazioni strutturate con l'Università, una pratica che, purtroppo, è stata abbandonata col risultato che si è persa la felice condizione in cui, pur essendo dipendenti dell'Università, molti docenti svolgevano attività di ricerca in ambito CNR. Il CNR stesso ne ricavava un considerevole apporto di risultati.

Le pubblicazioni nella fase iniziale erano prevalentemente su riviste nazionali. Non era ancora sufficientemente diffusa la cultura del confronto con gli ambienti di ricerca internazionali, sebbene la letteratura di interesse fosse quasi esclusivamente in lingua inglese. Tuttavia, col procedere degli anni, le pubblicazioni cominciarono ad apparire sempre di più su riviste internazionali. Negli anni '70 il CIOC si consolidò e, negli anni che seguirono, nuovi giovani ricercatori si aggiunsero. I nuovi ricercatori vennero sin dall'inizio indirizzati a pubblicare su riviste internazionali con ottimi risultati.

C'è un'altra considerazione che porta a valutare come estremamente positiva l'esperienza del CIOC: i ricercatori della prima ora, ma anche quelli che vennero negli anni '80 e seguenti, sono diventati professori universitari. Una buona parte di essi fa ancora parte di Dipartimenti dell'Università di Bologna, mentre un numero non trascurabile è passato ad altre università, portandovi il bagaglio delle rispettive conoscenze e contribuendo all'avvio e alla costituzione di gruppi di ricerca in informatica presso tali sedi.

ALLEGATI

1- Il collegamento HP 2116B-CDC 6600 (Bologna 1969-1970).

Quando il CIOC venne fondato, alla fine degli anni sessanta del secolo scorso, il panorama informatico era molto diverso dall'attuale. Predominavano le grosse macchine, i cosiddetti *Mainframe*.

In quegli anni era stato fondato il CINECA, dotato di un supercomputer CDC 6600, con il quale veniva fornito servizio di calcolo alle università consorziate. Presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna era stato installato un terminale User 200 che permetteva di inviare al CINECA i programmi in modalità *batch*. Inutile dire che molto spesso, tra la sottomissione di un lavoro e la stampa, poteva intercorrere un consistente lasso di tempo, a seconda della pesantezza del programma e del carico di lavoro esistente sul CDC 6600. Per questo nel 1969 venne deciso di collegare il minicalcolatore HP 2116B, installato presso il CIOC, al CDC6600. Il collegamento doveva permettere lo sviluppo di applicazioni funzionanti sul minicalcolatore, in grado di generare programmi e dati e per l'elaborazione sul CDC6600 e presentare in forma conveniente (per esempio, grafica) i risultati prodotti dall'esecuzione. L'intento era connaturato alla missione che aveva portato alla nascita del CIOC: l'Interazione Operatore-Calcolatore.

Alla fine del '69 non c'erano standard di comunicazione ed Internet era ancora da venire. quindi per collegare l'HP era obbligatorio adattarsi al protocollo di comunicazione del CDC. Quello che fu realizzato è stato sicuramente il primo collegamento di un minicalcolatore al CDC in Italia. Il sistema è stato impiegato per oltre un decennio in alcuni centri nazionali ed europei. La filiale HP del Regno Unito (UK) lo rese disponibile come software contribuito, dopo aver apportato minime variazioni.

2- Interazione uomo calcolatore (Bologna 1968-1975).

Dal 1966 era attivo al Centro di Calcolo del CISE di Segrate un progetto per lo studio e la realizzazione di un sistema di interazione tra operatore e calcolatore. Con il progetto, denominato COLD (Computer OnLine Design), si intendeva sperimentare le possibilità di interazione attraverso unità grafiche. Era anche già attivo un programma di ricerca sul disegno delle maschere per i circuiti integrati dove l'interazione del progettista con avveniva attraverso la penna luce dell'unità grafica IDI CM10114 collegata all'elaboratore IBM 1800 del CISE.

I risultati ottenuti furono alla base della spinta verso la ricerca sull'interazione operatore calcolatore che De Lotto intendeva condurre al CIOC di Bologna. Altri sistemi grafici furono realizzati presso il Centro a Bologna, dove era stata acquisita una unità COMPUTEK400 corredata di Rand Tablet (magnetica). Il primo in ordine di tempo fu una libreria di programmi disponibili sia sul HP2116B che sul CDC 6600 per la descrizione e la rappresentazione di curve e superfici a doppia curvatura (superfici di Coons). La restituzione grafica dei risultati si avvaleva sia del COMPUTEK400 sia del plotter Benson del CINECA.

Un'altra applicazione di particolare interesse consentiva di preparare i dati di ingresso sull'HP e poi di inviarli al CDC dove veniva richiamato un programma batch che depositava i risultati in un'area della quale l'HP poteva farsi spedire il contenuto. Data l'esperienza acquisita presso il Centro nel CAD di circuiti elettronici il sistema fu applicato prevalentemente alla progettazione elettronica.

Agli inizi degli anni '70 venne sviluppato un sistema per lo studio delle reti di code. Il sistema permetteva di dare, su display in modo interattivo, la descrizione della struttura della rete di code che forniva i dati per il modello di simulazione. Questo era realizzato con un programma scritto in Fortran sul CDC6600. Mentre la rete poteva quindi essere specificata attraverso il sistema d'interazione grafica del HP2116B, il suo funzionamento era simulato sul calcolatore del Cineca. I risultati della simulazione, presentati in modo grafico sull'unità d'interazione HP, permettevano di adeguare opportunamente la rete di code ottimizzandola con un processo interattivo.

Nella seconda metà degli anni '60 erano entrati sul mercato i mini-calcolatori. Questi per sfruttare al meglio le loro limitate risorse erano spesso programmati in Assembler e il codice oggetto prodotto dai relativi compilatori (chiamati Assemblatori) era, riferito al set di istruzioni della specifica macchina. Si ritenne interessante progettare un Assemblatore che potesse essere parametrizzato fornendogli in ingresso la descrizione del linguaggio sorgente e la funzione di mappa fra ogni istruzione e la relativa codifica binaria. L'Assemblatore parametrico, utilizzando il collegamento, fu realizzato in Fortran sul già citato CDC 6600 per trattare appunto i linguaggi Assembler di tre minicomputer: il Laben 70, il Varian 620 e l'HP2116B.

L'idea dell'Assemblatore parametrico introduceva per la prima volta, e in tempi piuttosto remoti, il concetto di portabilità del software. Prefigurava infatti la possibilità di scrivere un programma in uno dei linguaggi proprietari e di tradurlo nel codice oggetto di un'altra macchina. Per quel tempo i sistemi di interazione realizzati erano da considerarsi molto innovativa in quanto erano esempi di suddivisione del carico di lavoro e anticipavano alcune prerogative dei sistemi client-server della seconda metà degli anni '70.

3- Il CAD di circuiti elettronici (Bologna 1968-1980).

La progettazione di circuiti elettronici con il calcolatore digitale iniziò ad avere un grande interesse internazionale nella seconda metà degli anni sessanta. Nel 1968 iniziò, quindi, una ricerca su come progettare algoritmi per il calcolo della risposta di circuiti elettronici caratterizzati dalla matrice di diffusione (matrice S). perché consentiva di caratterizzare circuiti a costanti distribuite e circuiti a costanti concentrate, così come circuiti a componentistica mista. In attesa di poter acquisire dei mezzi di calcolo, fu deciso di trasferire l'attività al CISE, sull'IBM 1800.

Fu trattato inizialmente il caso dei circuiti a costanti distribuite. La matrice di un circuito, costituito da *multiporte* connessi attraverso coppie di porte, veniva determinata in funzione delle matrici descrittive dei singoli multiporte e, nel caso di circuiti di una certa complessità, si trattava di risolvere un sistema di equazioni di notevoli dimensioni e molto sparso. Fu quindi studiato un algoritmo che esaminava i multiporte a due, a due, ricavando la matrice S risultante dalla connessione, memorizzandola e connettendo il multiporte così ottenuto al successivo e così via. Il primo programma CAD realizzato fu denominato SCAMAT (SCAttering MATrix) .

Il successivo problema da affrontare fu quello di come adattare lo SCAMAT a circuiti a costanti concentrate. L'idea definitiva fu di introdurre e collegare ogni componente concentrato ad un 3-porte fittizio senza perdite. L'algoritmo che esaminava le connessioni dei componenti per generare i 3-porte rigenerava tutto il circuito in termini di n -porte così da poter essere risolto dallo SCAMAT. Il programma fu poi portato sul CDC 6600 del CINECA. Successivamente fu deciso di realizzare un metodo di soluzione che tenesse conto della *sparsità* della matrice del circuito, fu quindi realizzata una subroutine che generava un codice per l'esecuzione del sistema che evitava le operazioni con i coefficienti di valore 0 della matrice e che quindi era molto veloce.

L'ultima estensione fu il calcolo della sensibilità della risposta dei circuiti rispetto alle variazioni dei valori dei parametri dei componenti. I risultati della ricerca ebbero una notevole risonanza internazionale e lo SCAMAT fu dato in uso ad un certo numero di industrie italiane e straniere.

L'attività sugli algoritmi per l'analisi circuitale proseguì poi dopo il 1976 con lo studio dei metodi per l'analisi di circuiti non lineari in regime periodico. Successivamente, nell'ambito di collaborazioni con aziende italiane ed europee, la ricerca fu finalizzata allo sviluppo di modelli non lineari di dispositivi elettronici, da impiegarsi nel CAD circuitale.

4- Reti di code di servizio (Pavia 1970-1975).

Nell'ambito della simulazione di sistemi di code, in collaborazione con il Centro di Ricerche del Traffico della Società Telettra fu esaminato il caso del traffico automobilistico, affrontato a vari livelli: ottimizzazione del ciclo sul singolo semaforo, sincronizzazione su diverse decine di incroci in area urbana e infine il traffico autostradale e in particolare sulle tangenziali.

Il primo tema, è stato quello della determinazione del ciclo semaforico minimo, parcellizzato nelle fasi e negli offset per i singoli flussi di veicoli e pedoni. Il secondo tema è stato il controllo di un'area urbana estesa con l'obiettivo di minimizzare il disagio dei viaggiatori valutato attraverso una cifra di merito che teneva conto dei tempi complessivi di attesa in coda e del numero medio

delle fermate richieste. La prima applicazione pratica è stata offerta dal Comune di Bologna, interessato al controllo del traffico del quartiere urbano della "Bolognina". Il terzo tema riguardava la simulazione del traffico sulle tangenziali e sulle autostrade con frequenti accessi/uscite laterali. Attraverso il programma (denominato COTRA) si poteva simulare il comportamento del traffico nell'intera rete e, oltre a determinare l'insieme ottimo degli offset e delle durate delle code dei flussi, venivano prodotti l'andamento delle code e il flusso di ingresso e di uscita in ogni lato.

5- Elaborazione di segnali in biomedicina (Pavia 1972-1979).

Una importante attività nel settore dell'informatica in medicina si è svolta in collaborazione con l'Istituto di Elettronica e la Clinica Otorinolaringoiatrica della Università di Pavia. Lo sviluppo di questa attività ha richiesto la messa a punto di uno dei primi sistemi di acquisizione di segnali analogici, realizzato in Italia sul calcolatore LABEN 70 dotato di terminale grafico interattivo. In tale realizzazione sono state implementate operazioni di filtraggio analogico dei segnali e di conversione analogico-numerica. Questa ricerca portò alla realizzazione di un sistema interattivo per la registrazione di un elevato numero di risposte nistagmiche e la loro successiva elaborazione. Il sistema realizzato rimase nell'uso clinico fino alla metà degli anni '80, e fu utilizzato con ottimi risultati anche nella ricerca di base sulla fisiologia del sistema vestibolo-oculomotore e sulle modalità d'interazione tra sistema vestibolare e sistema visivo.

Un secondo tema di interesse fu la ricostruzione di immagini nucleari affette da rumore. La comune immagine scintigrafica rappresenta la proiezione su di un piano della distribuzione spaziale delle sorgenti radioattive, introdotte nell'organo che il medico vuole esaminare per mezzo di opportuni traccianti. Questa immagine è correntemente affetta da errori sistematici e da errori casuali. I primi sono principalmente: movimenti del paziente durante la misura. Gli errori casuali sono soprattutto dovuti al valore finito del numero di eventi contati, alle emissioni poissoniane proprie del processo radioattivo a cui si sommano gli effetti delle fluttuazioni dovute al rumore elettronico e del processo di rivelazione. Nacque così l'interesse per le tecniche di filtraggio e di ricostruzione dell'immagine, che si basavano su elaborazioni analogiche o numeriche sull'immagine raccolta, con lo scopo di fornire un'immagine di più facile lettura per il medico e di misurare parametri dell'immagine con la massima precisione. Con le tecniche di filtraggio, realizzate in collaborazione con il Los Alamos National Lab. si è giunti alla ricostruzione di immagini biomediche di complessità elevata.

Va ricordato che nell'ambito dell'unità di ricerca del Gruppo nazionale di Cibernetica, negli anni precedenti alla costituzione del Centro, fu sviluppata una delle prime implementazioni in Fortran dell'algoritmo di Cooley-Tukey per la Fast Fourier Transform. La competenza acquisita in tale contesto ha permesso di proseguire l'attività di ricerca nel settore dell'elaborazione di segnali analogici. In particolare si è presa in considerazione la misura di funzioni di correlazione sia di processi stazionari che di processi non stazionari e della precisione con cui si possono effettuare queste misure. Furono infine studiati algoritmi per trasformazioni funzionali per minicalcolatori, sia per segnali monodimensionali che bidimensionali.

6- Gestione della strumentazione integrata in sistemi complessi (Pavia 1970-1975).

Un sistema complesso di strumenti è composto da strumenti, da una rete di comunicazione interna (bus) e da uno o più controllori. La rete di comunicazione permette lo scambio di informazione tra i componenti il sistema. Il controllore o i controllori hanno, tra le altre funzioni, anche il compito di gestire la risorsa bus, in modo che le varie utenze non interferiscano le une con le altre. Un ruolo importante gioca inoltre la scelta delle modalità logiche e circuitali con cui i messaggi vengono trasmessi lungo il bus (standard di connessione). A metà degli anni '70 una collaborazione di successo con l'Olivetti per lo "Studio di sistema per connessione XP6000 con strumentazione di laboratorio" ha portato alla scelta dello standard IEC-IEEE e alla progettazione dell'interfaccia dell'XP6000, poi prodotta col nome commerciale di P6060, che ha avuto un successo notevole sul mercato.

7- Sistemi paralleli e distribuiti (1976-1980)

Uno dei problemi dei sistemi distribuiti era quello della allocazione delle risorse. Il CIOC svolse una consistente attività di ricerca in questo ambito, puntando all'ottimizzazione del rapporto costo/prestazioni. In collaborazione con il Laboratorio di ricerca IBM di Yorktown Heights fu condotta una ricerca sul dimensionamento ottimale dei sistemi distribuiti nell'ottica della valutazione delle prestazioni e dell'analisi costi/benefici, realizzando un simulatore per fornire dati quantitativi circa il comportamento di sistemi complessi analiticamente intrattabili.

Fra i temi di ricerca più interessanti della fine degli anni 70 si stavano affermando le reti locali di calcolatori ed in questo ambito il CIOC attivò una collaborazione con il Polytecnic of Central London per definire le caratteristiche e realizzare una rete di minielaboratori rispondente alla necessità di elaborazione distribuita e scambio automatico di messaggi in ambiti spaziali limitati (ad es. uffici, stabilimenti industriali, università). La rete, denominata MININET, era basata su due tipi di nodi: le stazioni di ingresso e gli scambi che utilizzavano la tecnica del packet switching.

8- Ricerca Operativa (1980-1990)

Il gruppo di Ricerca Operativa del Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica di Bologna sviluppò, in collaborazione col CIOC, una serie di ricerche nell'area dell'Ottimizzazione Combinatoria, in particolare nel settore *Cutting and Packing*. Vennero studiati due classici problemi di tale area: il *knapsack problem* ed il *bin packing problem* con alcune loro importanti varianti quali il *0-1 multiple knapsack problem*, il *subset-sum problem* ed il *change making problem*. La collaborazione portò anche a definire nuovi algoritmi per la selezione degli indici nei database relazionali oltre ad importanti risultati nell'area dell'Ottimizzazione Combinatoria.

Nel 1990 queste ricerche confluirono nel volume *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*, pubblicato da J.Wiley&Sons, che è tra i libri più citati per l'Ottimizzazione Combinatoria.

9- Basi di Dati Relazionali (1976-1990)

Il CIOC ha collaborato per vari e lunghi periodi con il prestigioso Department of Computer Science dell'IBM S. Jose Research Laboratory, dove si stava realizzando il primo prototipo di sistema di gestione di basi di dati relazionali denominato System R. Il sistema si basava sul ben noto modello relazionale dei dati proposto da Codd nel 1970 e fu il primo a implementare il linguaggio SQL. Il primo tema di ricerca affrontato fu la valutazione del costo delle queries di modifica dei dati (*update*, *delete*). La seconda tematica affrontata fu la disposizione automatica degli indici sulle relazioni partendo dal carico di lavoro (set di queries). La strategia sviluppata fu realizzata attraverso un *tool* di design denominato DBDSGN. Si trattava di un sistema interattivo che permetteva al DB manager del System R di determinare quale set di indici costruire sul database per ottimizzare la prestazioni.

A Bologna il lavoro di progettazione fisica di basi di dati relazionali proseguì all'interno del sotto progetto Dataid del progetto finalizzato Informatica e considerò DBMS relazionali con ottimizzatori e strutture di indirizzamento di tipo diverso.

10- Collaborazione con la Regione Emilia Romagna (1976-1980)

L'obiettivo centrale della collaborazione era studiare, sperimentare e mettere a disposizione della Regione strumenti innovativi per l'analisi del territorio al fine di definire di metodologie d'intervento. in un'ottica multisetoriale che spaziava dall'economia alla statistica, dalla geologia all'agricoltura e alla demografia. Tali strumenti richiedevano in ogni caso la capacità di gestire ed elaborare grandi quantità di dati.

L'attenzione dei ricercatori si rivolse quindi alle basi di dati e ai sistemi informativi geografici. Si decise pertanto di realizzare ad hoc un DBMS relazionale, denominato EASIER. La seconda parte del progetto riguardava il modo più efficace per stabilire un collegamento fra i dati utili alla pianificazione e la loro rappresentazione geografica. Ciò che l'Ufficio Cartografico della Regione chiese al CIOC fu la realizzazione di tecnologie GIS per l'indagine territoriale. Ciò portò a "rasterizzare" le diverse cartografie regionali suddividendo il territorio in celle e assegnando a ciascuna il valore prevalente della grandezza ambientale considerata ed a costruire una piattaforma software capace di intersecare le carte alla ricerca delle combinazioni desiderate delle grandezze d'interesse.

11- Progettazione concettuale di Basi di Dati(1980-2000)

Sfruttando le nuove conoscenze acquisite nell'ambito dell'intelligenza artificiale, i ricercatori del Centro si sono dedicati allo sviluppo di un sistema per la gestione di basi di conoscenza, estendendo le metodologie di progetto basate sul modello *Entity-Relationship* giungendo alla definizione di un modello di rappresentazione della conoscenza che integra idee provenienti dall'area dell'intelligenza artificiale e dall'area database. Tale modello, denominato "*Entità-Situazione*", permette di rappresentare oggetti complessi e relazioni n-arie tra oggetti complessi.

12- Basi di Dati Temporal (1990-2005)

il gruppo del CIOC ha preso parte alle attività che hanno preparato l' "ARPA/NSF Int. Workshop on an Infrastructure for Temporal Databases" (Arlington,1993) il cui scopo era sviluppare un *consensus report* che potesse essere usato come baseline fondazionale per la ricerca futura. In particolare, il gruppo del CIOC ha contribuito alla formalizzazione del concetto di *history*, consistente nell'intera evoluzione di un "oggetto" appartenente genericamente ad una collezione di più versioni temporali. In collaborazione con ricercatori della New York University, è stata anche definita un'algebra relazionale temporale *history-oriented*. Un'estensione *history-oriented* del linguaggio SQL (*HoT-SQL*) è stata anche implementata in un prototipo funzionante,

Negli anni a seguire, la ricerca si è concentrata sulla gestione temporale di versioni dello schema del database (*temporal schema versioning*). E successivamente lo studio dello *schema versioning* temporale è stato trasferito anche all'ambito *object-oriented* ed ai dati semistrutturati basati su XML (per applicazioni nel campo dei Beni Culturali e dell'Informatica Giuridica).

13- Information retrieval (1990-2007)

Agli inizi degli anni '90 l'attività di ricerca del CIOC iniziò ad affrontare varie problematiche relative al trattamento di documenti, testuali prima e multimediali in seguito. Mediante una stretta collaborazione con il CNUCE di Pisa e l'Università di Brno, venne messo a punto un metodo, denominato *Quick Filter* per la gestione efficiente dei *signature file*, indici basati su tecniche hash in grado di supportare ricerche di parole all'interno di testi. Quick Filter è stato il primo signature file dinamico, basato sul linear hashing, in grado di adattarsi a dimensioni variabili nel tempo della collezione di documenti. Quick Filter accoppiato a una tecnica di partizionamento dell'indice su più dispositivi di memoria secondaria basata sull'uso di codici a correzione di errore (*ECC*) fu la base dell'algoritmo *Hamming*Filter* in grado di riallocare dinamicamente parti dell'indice sui vari dispositivi per minimizzare il tempo di risposta.

Nell'ambito della stessa collaborazione vennero affrontate problematiche legate all'indicizzazione di dati multimediali. Il risultato più significativo fu il metodo *M-tree*, in grado di risolvere interrogazioni di similarità basate su una metrica arbitraria. Tra i molti risultati ottenuti in quest'area di ricerca merita ricordare *SaLSa*, un algoritmo estremamente efficiente per interrogazioni basate su *preferenze*.

14- Business Intelligence e Data Warehouse (2000-2010)

La ricerca in questo settore ha inizialmente avuto per tema l'elaborazione di una metodologia per la progettazione concettuale di data warehouse ed è stato ideato un modello chiamato Dimensional Fact Model. Sono stati anche trattati i temi legati all'analisi dei requisiti, alla progettazione logica (materializzazione di viste e stima della loro cardinalità) e fisica (scelta degli indici) e al testing, esplorando al contempo approcci agili alla gestione del ciclo di vita. Sono stati poi toccati temi legati ai data warehouse temporali e al versioning, nonché alle preferenze OLAP. Sempre al fine di migliorare l'esperienza OLAP dell'utente, si sono studiati specifici meccanismi di intensional query answering, misure di similarità, tecniche di predizione di query e approcci OLAM che uniscono OLAP e data mining.

Nell'ambito più generale della business intelligence è stata messa a punto una metodologia per la progettazione di applicazioni per l'analisi what-if, e sono stati studiati approcci per abilitare OLAP esplorativo su sorgenti NoSQL e linked data.

15- Sistemi biometrici e riconoscimento di impronte digitali (1993,2010)

Nel settore dei *Sistemi Biometrici* le prime attività di ricerca ebbero inizio alla fine del 1993 con l'obiettivo di proporre e sperimentare tecniche d'identificazione e riconoscimento di persone, basate sull'uso di caratteristiche biometriche, con particolare riferimento a impronte digitali, impronte palmari e immagini del volto. Nel 1994 essendo i ricercatori interessati alla ricerca, trasferiti al Dipartimento di Informatica del Campus universitario di Cesena (Università di Bologna), venne ivi attrezzato un laboratorio, denominato *Biometric System Laboratory*.

Sono state sviluppate tecniche innovative per l'estrazione automatica delle *minuzie* dalle impronte digitali. Sono stati affrontati i problemi della classificazione delle impronte e della ricerca di impronte in database di grandi dimensioni, ottenendo nel primo caso i migliori risultati pubblicati in letteratura e riuscendo ad infrangere per la prima volta la "sfida" lanciata dall'FBI (che richiedeva un'accuratezza di classificazione di almeno il 99% con una rejection minore del 20%).

È stato proposto un metodo innovativo (*SFinGe: Synthetic Fingerprint Generator*), per la generazione sintetica di impronte digitali allo scopo di collezionare (a costo zero) grandi database su cui eseguire sperimentazioni e misure delle prestazioni degli algoritmi di riconoscimento. Il software è stato oggetto di oltre 100 convenzioni di ricerca con molteplici organizzazioni internazionali tra cui il Dipartimento della Difesa USA

Negli anni successivi il gruppo di ricerca ha raggiunto numerosi importanti risultati ed ha contribuito al volume scientifico "Handbook of Fingerprint Recognition", Springer 2003 e 2009 che ha ricevuto il prestigioso PSP award dalla Association of American Publishers.