



RELAZIONE FINALE PER IL PROGRAMMA DI RICERCA STM

Titolo del programma: Caratterizzazione e monitoraggio di cavità su monumenti di interesse storico

Fruitore: Prof. Piccoli Benedetto, Department of Mathematical Sciences – Rutgers University Camden NJ

Proponente: Domenico Vitulano, Istituto per le Applicazioni del Calcolo 'M. Picone', Via dei Taurini 19, 00185 Roma, Italia

Dipartimento di appartenenza: Patrimonio Culturale

Il programma di ricerca STM in oggetto ha avuto l'obiettivo di sviluppare una metodologia basata sull'elaborazione di segnali e immagini finalizzata alla classificazione e al monitoraggio di cavità su monumenti di interesse storico. A dispetto della grande quantità di modelli esistenti in letteratura per questo scopo, l'attenzione del programma si è rivolta ai modelli basati su trasformate tempo-frequenza. In particolare, seguendo una strada di ricerca ormai consolidata con tra il proponente e il fruitore della STM in oggetto, lo studio ha riguardato la combinazione di trasformate tempo scala e modelli di evoluzione basati su leggi di conservazione.

L'attività di ricerca è consistita nel cercare di formulare un modello multiscala che permettesse una descrizione precisa (ovvero deterministica e non statistica) del flusso dell'informazione nel dominio tempo-frequenza relativa sia a singolarità isolate di un segnale che a componenti stazionarie ma fortemente oscillanti. Cercando di sintetizzare il problema che ci si è proposti, l'idea chiave sta nell'integrazione delle ben note proprietà di localizzazione delle trasformate tempo frequenza con modelli di evoluzione basati su leggi di conservazione, al fine di definire l' "impronta" di componenti diverse di un segnale nel dominio tempo-scala. Tuttavia, riconoscere tale impronta in casi di interferenza, fenomeno che si verifica soprattutto in presenza di componenti dello stesso tipo ma con caratteristiche diverse, quali funzioni di frequenza istantanea diversa risulta essere un compito estremamente difficile se non impossibile. Quest'ultimo è il caso in cui componenti fortemente oscillanti sono troppo vicine in spazio e frequenza da poter essere discriminate, a causa del ben noto principio di indeterminazione di Heisenberg. Pur sembrando un problema esclusivamente teorico, tale difficoltà viene fuori in svariati problemi pratici, tra i quali l'analisi delle tessiture di un'immagine, di contorni di forme come quelli delle cavità su pareti, di segnali a frequenza modulata, etc.. Lo scopo finale resta dunque quello di discriminare cavità aventi stessa forma geometrica (quindi la stessa informazione non oscillante) ma asperità nel contorno di tipo diverso, e di assimilare cavità con forme diverse ma aventi lo stesso tipo di tessitura. L'idea, inoltre, contempla anche la possibilità di caratterizzare componenti diverse del segnale (discontinuità o componenti oscillanti) al variare della risoluzione. Questo tipo di informazione risulta quindi essere la caratteristica discriminante sia della forma geometrica che della tessitura, informazione, questa, spesso legata ad anomalie della forma considerata. Tale lavoro sebbene orientato all'analisi dell'evoluzione del degrado di monumenti del patrimonio dei Beni Culturali mediante l'uso di immagini, presenta analogie anche con numerosi problemi relativi ad altri ambiti applicativi, quali la classificazione di forme tumorali in medicina.



L'attività svolta nel periodo di soggiorno in Italia del Prof. Piccoli si è concentrata principalmente su due filoni: i) il raffinamento di un modello multiscala per singolarità oscillanti, oggetto di una ricerca precedente e ii) lo studio di fattibilità per una trasformata wavelet 2D.

Per quanto concerne il primo filone, l'attività è consistita nel generalizzare un modello di evoluzione di segnali chirp (fortemente oscillanti) in interferenza al caso in cui non si usi la classica wavelet di Gabor. Questa attività si è resa necessaria per un'eventuale generalizzazione del modello proposto (che risulta essere il primo a descrivere in modo deterministico la rappresentazione tempo scala del modulo della trasformata wavelet analitica di due segnali chirp in interferenza) con alcuni recenti studi condotti recentemente in letteratura, che descrivono un segnale modulato in frequenza come somma di deviazioni successive di un segnale sinusoidale puro con frequenza pari alla frequenza istantanea del chirp in questione. Questo studio si rifletterà in maniera immediata nello studio di forme di degrado (cavità, macchie di ossidazione, concrezione etc.) che debbano essere descritte e quindi analizzate guardando al loro segnale contorno.

La seconda attività ha riguardato invece la possibilità di poter scrivere una trasformata wavelet 2D. E' ben noto che ad oggi non esiste una tale trasformata, e la sua realizzazione 2D viene artificialmente ottenuta con il prodotto tensoriale delle due componenti x e y (verticale e orizzontale). In letteratura sono stati proposti svariati approcci che hanno tentato di realizzare trasformate ad hoc (curvelets, ridgelets, bandlets etc.). Ognuna di esse tuttavia risulta essere legata fortemente al tipo di immagine da analizzare, perdendo quindi in generalità. Quello che si è pensato di fare, invece, consiste nel non utilizzare un modello geometrico classico per la generazione di una nuova trasformata, ma di utilizzare gli effetti che la trasformata produce nel dominio tempo scala e generalizzare gli stessi in due dimensioni. Da alcuni studi precedenti condotti dal proponente, il fruitore della STM e la Prof. Bruni Vittoria (Università degli Studi di Roma 'Sapienza') si era visto infatti che la trasformata wavelet genera tre tipi di effetti: diffusivo, trasporto e sorgente. Solo l'effetto diffusivo, tuttavia, può facilmente essere generalizzato in 2D, mentre per gli altri una versione 2D richiederebbe la conoscenza 'a priori' dell'immagine da analizzare. Questa difficoltà è stata però superata considerando che la parte di trasporto (la componente sorgente può tranquillamente essere omessa, in quanto facilmente riproducibile) può essere scritta in termini di componenti diffusive. Questo fa sì che la dipendenza dal segnale in input alla trasformata (immagine) si perda e quindi sia possibile scrivere una forma chiusa per la trasformata. I primi risultati teorici sono incoraggianti. Sarà necessario ancora un ulteriore studio per definire al meglio il modello e quindi la possibile trasformata. Se lo studio intrapreso avrà successo, il risultato avrà sicuramente un impatto notevole sullo studio di immagini a varie risoluzioni e quindi in vari problemi di diagnostica per immagini nell'ambito dei Beni Culturali¹.

Va sottolineato, infine, che le forti analogie tra lo studio delle forme di degrado tipiche di monumenti di importanza storica e lo studio di forme caratteristiche di varie patologie mediche (settore nel quale la Rutgers University ha un ruolo importante negli USA) fa sì che molti dei

¹ Nella descrizione fatta, sono stati volutamente omessi dettagli troppo tecnici così come anche le formule, per una facile comprensione del problema. Il proponente è disponibile tuttavia a fornire ulteriori chiarimenti e approfondimenti, qualora richiesti.



modelli utili in un settore sono spendibili anche nell'altro, con un valore aggiunto nella preparazione di futuri progetti di ricerca che coinvolgano questa attività.