

\ 314 \

**Algoritmi ibridi per l'ottimizzazione di un
Portafoglio Azionario**
*Simulazione stocastica filtrata mediante
wavelet decomposition*

di

Giacomo Galeotti*
Tommaso Minerva**

Maggio 2000

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
Dipartimento di Economia Politica
Via Berengario, 51
41100 Modena (Italy)

* e-mail: galgiac@tin.it

** e-mail: minerva@unimo.it

Riassunto

Il presente lavoro riguarda l'ottimizzazione e la gestione dinamica di un portafoglio azionario basato sul mercato finanziario italiano. La tecnica di ottimizzazione, entro uno schema Media-Varianza, si basa su previsioni della distribuzione dei rendimenti ottenute mediante simulazione stocastica filtrata dei rendimenti previsti. Il filtraggio del segnale avviene mediante wavelet decomposition. La serie storica dei rendimenti viene scomposta in due componenti: una parte che ne costituisce il trend e una parte di 'rumore' derivante da altri fattori. A partire dai segnali decomposti viene proposto un meccanismo di ricostruzione della distribuzione dei rendimenti previsti sulla quale ci si basa per costruire una frontiera efficiente all'interno della quale viene scelto il portafoglio ottimale. Un sistema automatico di decisione propone, ad ogni monitoraggio, un meccanismo di disinvestimento/reinvestimento tenendo conto delle spese e dei guadagni previsti nell'attività. Il sistema è stato poi utilizzato in una simulazione per l'anno 1999 ottenendo una performance del 50% ponendosi nella fascia alta dei Fondi Azionari Italiani.

1 - Introduzione

L'obiettivo del lavoro è quello di implementare un sistema automatico per guidare l'ottimizzazione di un portafoglio azionario. Nel caso studiato si considera un portafoglio composto da azioni della Borsa italiana (si utilizzano 20 tra i titoli a maggiore capitalizzazione di borsa). L'arco temporale su cui vengono calibrati gli investimenti è un anno con monitoraggi, ed eventuali movimenti, mensili. L'ottica è quella di un gestore professionale (Fondi Azionari Italiani).

Nel secondo capitolo presentiamo in dettaglio l'utilizzo della Wavelet Analysis, una metodologia innovativa di analisi dei segnali, applicata alle serie storiche finanziarie. A differenza dell'analisi di Fourier, la Wavelet Analysis permette di analizzare un segnale senza perdere le informazioni sul tempo quali ad esempio trend e cambiamenti repentini, che costituiscono la parte più importante del segnale.

Nel terzo capitolo, con l'utilizzo delle Wavelet e seguendo il modello Media-Varianza di Markowitz, viene proposto un approccio innovativo all'ottimizzazione di un portafoglio azionario. Il segnale (i rendimenti dei singoli titoli) viene decomposto in due componenti: una parte che ne costituisce il trend (segnale depurato) e una parte di 'rumore' derivante da altri fattori (dettaglio). A partire dai segnali decomposti viene proposto un meccanismo di ricostruzione della distribuzione dei rendimenti previsti sulla quale ci si basa per costruire una frontiera efficiente a un mese, all'interno della quale viene scelto il portafoglio ottimale. Ogni 20 giorni (un mese di Borsa) si effettua il monitoraggio dell'investimento, viene rideterminato un nuovo portafoglio ottimale e confrontato con il portafoglio attuale. Un sistema automatico di decisione propone un meccanismo di disinvestimento/reinvestimento tenendo conto delle spese e dei guadagni previsti nell'attività.

Il sistema di allocazione automatica è stato poi utilizzato in una simulazione di investimento per l'anno 1999 (ex-ante, cioè senza far mai vedere i dati al sistema) ottenendo un rendimento medio del 50,47%. I principali Fondi Azionari Italiani hanno ottenuto una performance media del 28,38% e solamente pochissimi fondi hanno ottenuto risultati superiori alla simulazione. Inoltre i gestori professionali operano sull'intero listino del mercato azionario mentre la nostra simulazione è limitata a 20 titoli. I test effettuati hanno mostrato risultati molto interessanti. Inoltre il modello può essere ulteriormente migliorato calibrando alcuni fattori (effetti di bordo). Questo porterebbe ad un miglioramento delle previsioni con conseguente aumento della performance del portafoglio.

2 - Wavelet

Tutte le cose che ci circondano sono segnali che possono essere analizzati. Scosse sismiche, voci umane, vibrazioni, dati finanziari, musica e tanti altri tipi di segnali possono essere codificati, ripuliti, semplificati e modellati in modo efficiente. Le Wavelet [CHU92b] [DAU92] [KAI94] sono un insieme di tecniche nuove e promettenti per poterlo fare.

2.1 - L'analisi di Fourier

Gli esperti di analisi dei segnali hanno già a loro disposizione una gran quantità di strumenti. Probabilmente il più conosciuto è l'analisi di Fourier [KAH95], che scompone un segnale in sinusoidi di diverse frequenze. Un altro modo di vedere l'analisi di Fourier, è di considerarla una tecnica matematica per trasformare un segnale da un dominio definito sul tempo ad uno definito sulla frequenza (Figura 1).

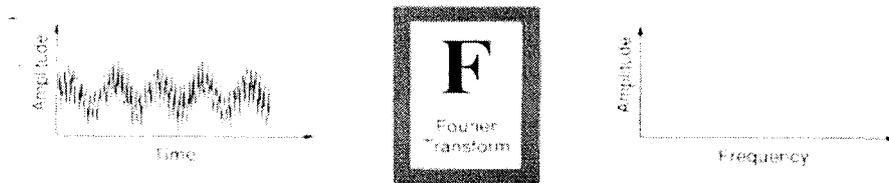


Figura 1: a sinistra il segnale originale e a destra la trasformata di Fourier.

Per molti segnali l'analisi di Fourier è utile in quanto la frequenza è di grande importanza. Perché quindi abbiamo bisogno di un'altra tecnica come le Wavelet?

L'analisi di Fourier ha un grosso inconveniente. Nel trasformare il segnale in un dominio di frequenza, le informazioni sul tempo vengono perse. Quando guardiamo una trasformata di Fourier è impossibile dire quando è accaduto un determinato evento. Se il segnale non varia molto nel tempo (segnale di tipo stazionario) questo inconveniente è di scarsa rilevanza. Invece molti segnali interessanti contengono caratteristiche transitorie (non stazionarie): tendenze, cambiamenti repentini, inizio e fine di un evento. Spesso queste caratteristiche sono la parte più importante del segnale e l'analisi di Fourier non è adatta ad individuarle.

Tentando di correggere questa mancanza, Dennis Gabor (1946) adattò la trasformazione di Fourier per analizzare solo una piccola sezione del segnale alla volta, (windowing). L'adattamento di Gabor, chiamato "Short-Time Fourier Transform"¹ (STFT), definisce un segnale in una funzione a due variabili nel tempo e nella frequenza (Figura 2).



Figura 2: Short-Time Fourier Transform. A sinistra il segnale originale, di cui ne viene presa solo una piccola parte (windowing). A destra la trasformata, basata su tempo e frequenza.

La STFT rappresenta un compromesso tra un'approssimazione del segnale basata sul tempo e una basata sulla frequenza. Fornisce alcune informazioni su quando e a quale frequenza un evento del segnale accade. Comunque si può solo ottenere queste informazioni con una

¹ Traduzione personale: "Trasformata di Fourier su brevi intervalli".

precisione limitata, determinata dall'ampiezza della finestra. Il compromesso della STFT tra tempo e frequenza può essere utile ma il lato negativo è che una volta scelta la misura della finestra temporale, la finestra è la stessa per tutte le frequenze. Molti segnali richiedono un approccio più flessibile, dove possiamo variare l'ampiezza della finestra per determinare più accuratamente sia il tempo sia la frequenza.

2.2 - Wavelet Analysis (WA)

La Wavelet Analysis (analisi con le Wavelet) rappresenta il passo logico successivo: una tecnica di windowing con regioni a dimensioni variabili [CHU92a] [ANT95]. La WA permette l'utilizzo di intervalli di tempo molto lunghi dove vogliamo informazioni più precise a bassa frequenza (low frequency), e regioni più corte dove vogliamo informazioni sulle alte frequenze (high frequency). In (Figura 3) abbiamo un confronto visivo delle differenti metodologie.

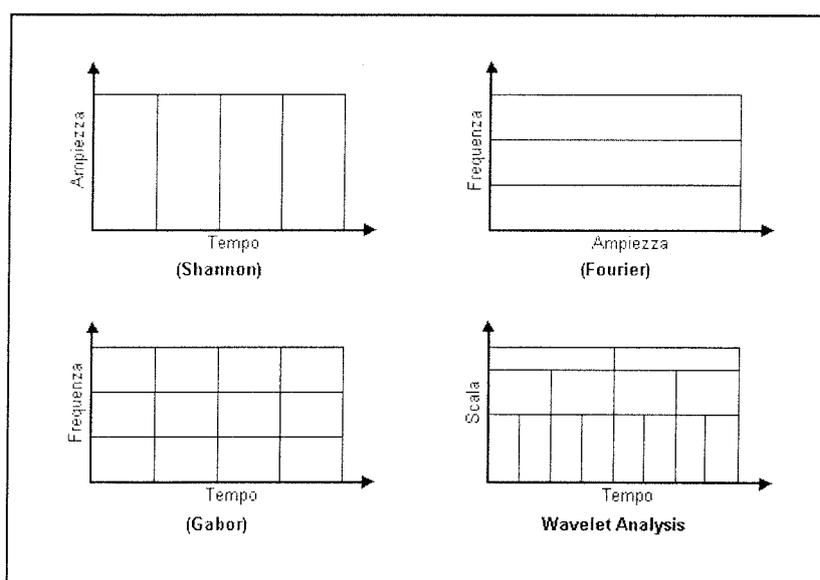
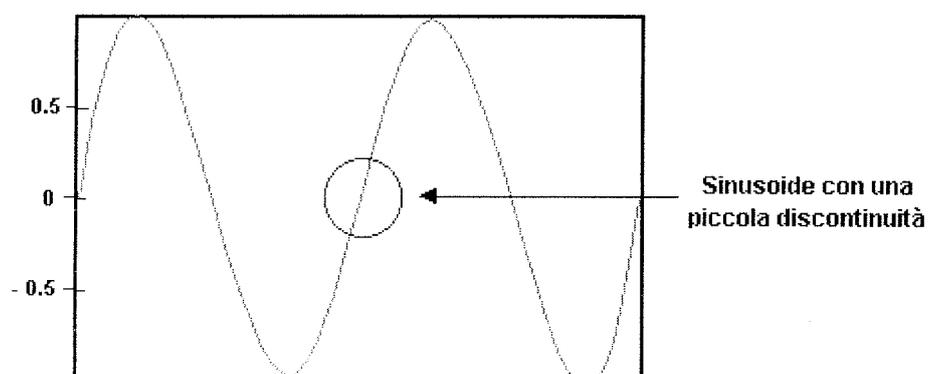


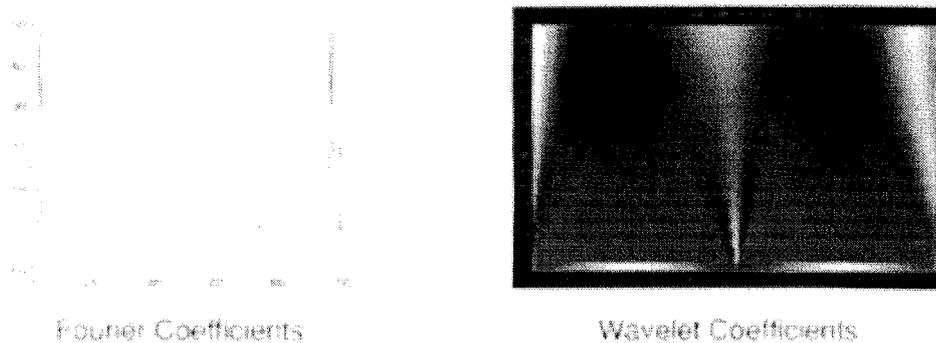
Figura 3: Confronto visivo tra i diversi tipi di analisi e le relative scale di misurazione.

Si può notare che la Wavelet Analysis non utilizza una “time-frequency region” ma invece una “time-scale region”. Uno dei maggiori vantaggi delle Wavelet, è la capacità di fare analisi locali, per analizzare un'area particolare di una segnale più esteso. Consideriamo una sinusoide con una piccola discontinuità, così sottile da essere quasi invisibile. Un segnale di questo tipo può essere facilmente generato nella realtà, ad esempio da una fluttuazione di potenza.



Un grafico dei coefficienti di Fourier di questo segnale non mostrerebbe niente di interessante: uno spettro piatto con due picchi che rappresentano una singola frequenza. Il grafico dei

“Wavelet coefficients” mostra chiaramente il momento temporale preciso della discontinuità

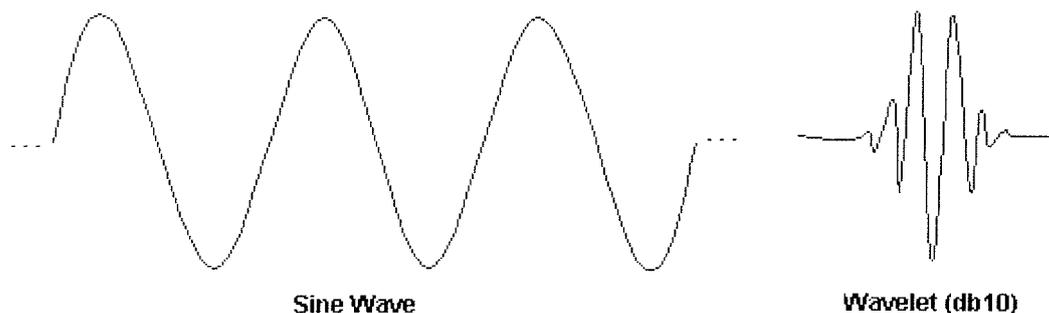


(Figura 4).

Figura 4: A sinistra i coefficienti di Fourier in cui non viene rilevato il momento della discontinuità. A destra quelli delle Wavelet in cui è possibile notare il momento preciso.

La Wavelet Analysis è in grado di rivelare aspetti dei dati che altre tecniche di analisi dei segnali perdono: i trend, punti di rottura e discontinuità [CMW92]. Inoltre, dato che offre una visione dei dati differente rispetto alle tecniche tradizionali, la WA spesso può comprimere un segnale o depurarlo dal rumore senza degradazioni apprezzabili. Nella loro breve storia di analisi dei segnali, le Wavelet hanno già dimostrato di essere uno strumento indispensabile da aggiungere a quelli già a disposizione degli analisti, e a tutt'oggi continuano a riscuotere una grossa popolarità [MEY93] [MIS93b].

Una Wavelet è una forma d'onda la cui estensione temporale è limitata e a media zero. Confrontiamo le Wavelet con la sinusoida che è alla base dell'analisi di Fourier. Le sinusoidi non hanno durata limitata, si estendono da meno infinito a più infinito, e dove i sinusoidi tendono ad essere arrotondati e prevedibili, le Wavelet sono irregolari e asimmetriche (Figura



5).

Figura 5: a sinistra la sinusoida arrotondata e a destra la Wavelet, irregolare e asimmetrica.

L'analisi di Fourier consiste nello scomporre un segnale in sinusoidi di varie frequenze. In modo simile, la Wavelet Analysis consiste nello scomporre un segnale in versioni spostate e scalate (“shifted and scaled”) della Wavelet originale (madre). Anche solamente osservando le immagini a confronto della Wavelet e della sinusoida, si può intuire che segnali con cambiamenti repentini possono essere analizzati meglio con una Wavelet irregolare piuttosto che con una morbida sinusoida.

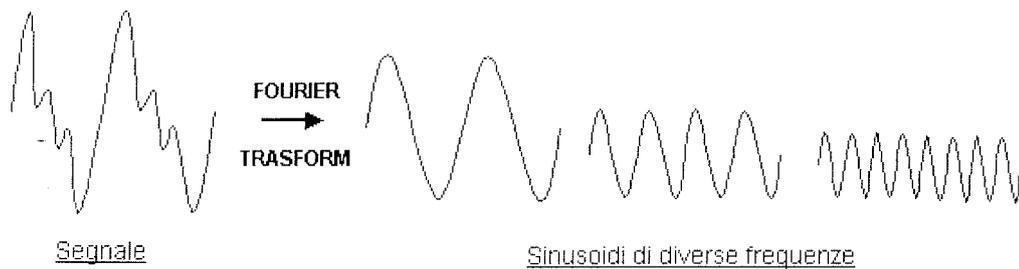
Fino ad ora abbiamo parlato di dati ad una sola dimensione, che comprendono molti dei segnali più comuni [COH92]. Comunque la WA può essere applicata a dati a due dimensioni come le immagini [DEV92] e in linea di principio anche a dati a più di due dimensioni. Il Wavelet Toolbox di Matlab [MIS96] è in grado di effettuare analisi solamente su dati ad una o due dimensioni.

2.3 - The Continuous Wavelet Transform (CWT)

Matematicamente il procedimento dell'analisi di Fourier è rappresentato dalla trasformata di Fourier

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.1)$$

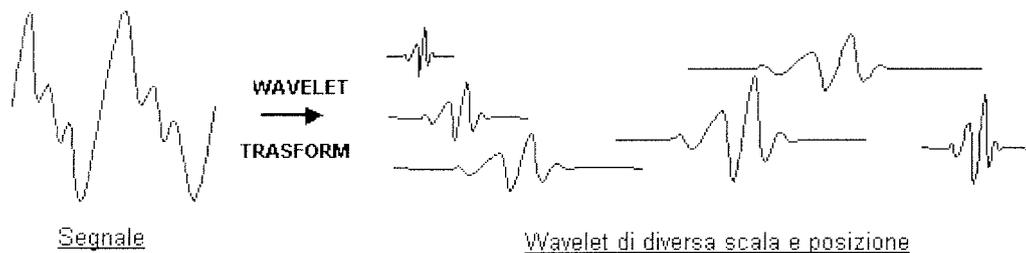
che è la somma estesa a tutto il dominio dei tempi del segnale $f(t)$, moltiplicato per un esponenziale complesso (che può essere diviso in una componente reale e una immaginaria). Il risultato della trasformata sono i coefficienti di Fourier $F(\omega)$, che moltiplicati per una sinusoide di frequenza appropriata ω , rappresentano le componenti sinusoidali del segnale originale. Graficamente il processo può essere descritto come segue:



In modo analogo la CWT è definita come la somma estesa a tutto il dominio dei tempi del segnale, moltiplicato per la Wavelet originale ψ , definita a meno di un fattore di scala e di fase:

$$C(\text{scale}, \text{position}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi(\text{scale}, \text{position}, t)dt \quad (2.2)$$

Il risultato della CWT sono tanti Wavelet Coefficients "C", che sono in funzione dello "scaling" e dello "shifting". Moltiplicando ogni coefficiente per l'appropriata Wavelet spostata e scalata, otteniamo le Wavelet che costituiscono il segnale originale [MIS93a].



Scaling

Abbiamo già accennato al fatto che la WA produce una visione "time-scale" del segnale. Utilizziamo un fattore di scala denominato "a". Più il coefficiente sarà piccolo e più la Wavelet sarà compressa. Il fattore di scala è correlato alla frequenza del segnale.

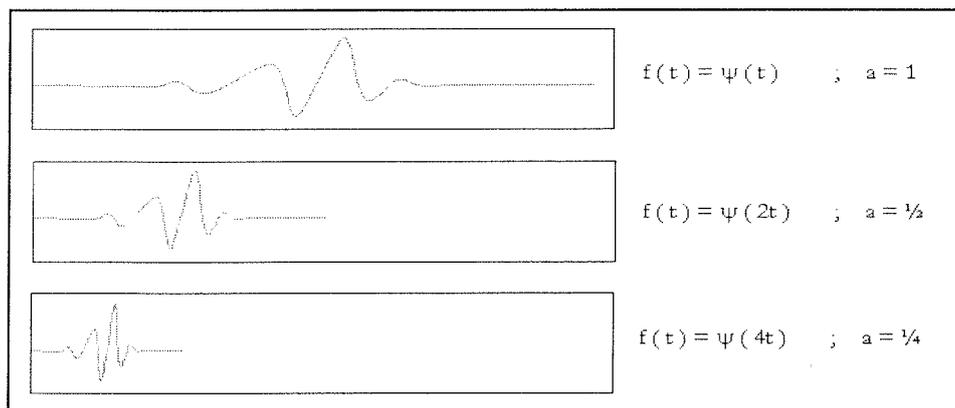
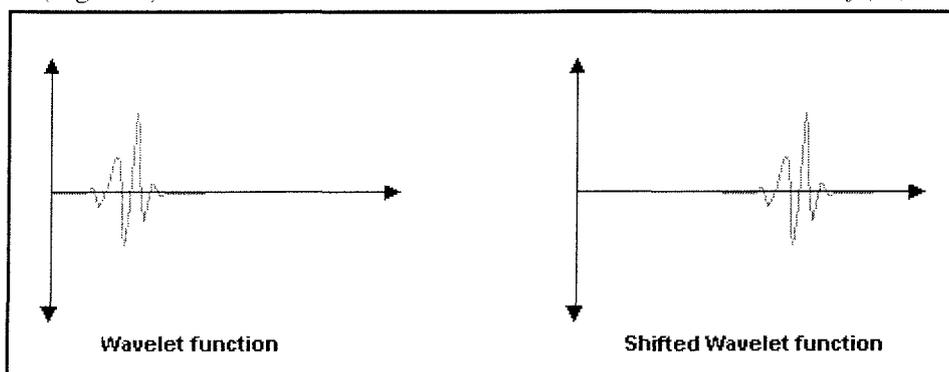


Figura 6: Scaling. Una Wavelet moltiplicata per fattori di scala "a" differenti.

Shifting

Spostare una Wavelet ("shifting") significa semplicemente ritardare (o anticipare) la sua attivazione (Figura 7). Matematicamente ritardare di un termine k una funzione $f(t)$, è dato da $f(t - k)$:



($t - k$):

Figura 7: Shifting. Versioni ritardate o anticipate della stessa Wavelet.

Procedimento per la Continuous Wavelet Transform

La CWT è definita come la somma estesa a tutto il dominio dei tempi del segnale, moltiplicato per la Wavelet originale ψ , definita a meno di un fattore di scala e di fase. Questo processo produce i "Wavelet coefficients" che sono in funzione della scala e della posizione. E' un processo molto semplice scomponibile in 5 punti:

prendiamo una Wavelet e la confrontiamo con una sezione all'inizio del segnale
 calcoliamo un numero C, che rappresenta quanto strettamente sia correlata la Wavelet a questa porzione del segnale (Figura 8). Più alto è C, maggiore è la somiglianza. Il risultato dipenderà dal tipo di Wavelet utilizzata:

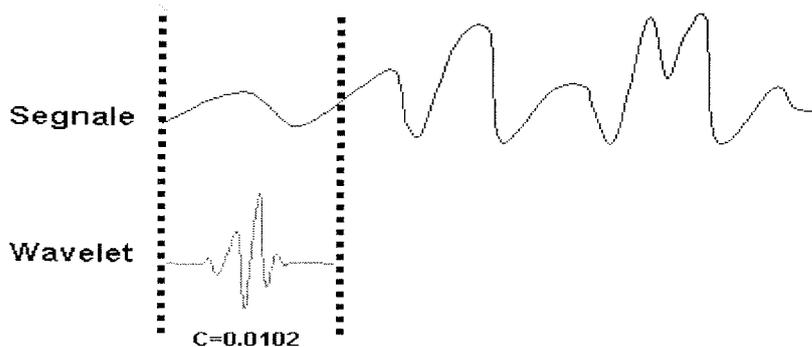
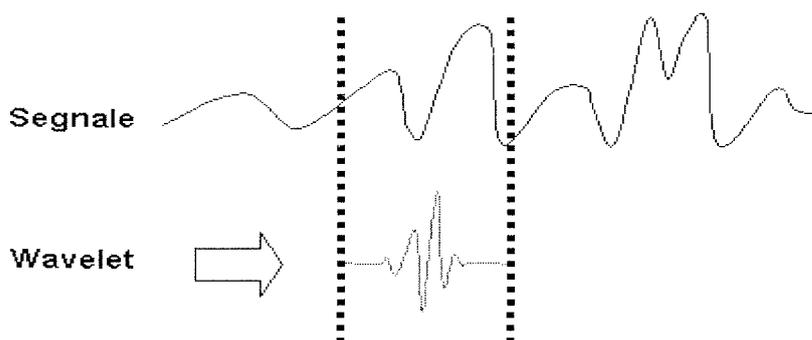


Figura 8: confrontiamo la Wavelet con la prima parte del segnale e calcoliamo il coefficiente.

1) Spostiamo la Wavelet verso destra e ripetiamo i passi 1 e 2 fino a quando non abbiamo



coperto l'intero segnale (Figura 9).

Figura 9: Spostiamo la Wavelet (shifting) in modo da confrontarla con le altre sezioni del segnale originale

- 2) Allunghiamo la Wavelet (Figura 10) utilizzando un fattore di scala (scaling) e ripetiamo i passi dall'1 al 3:

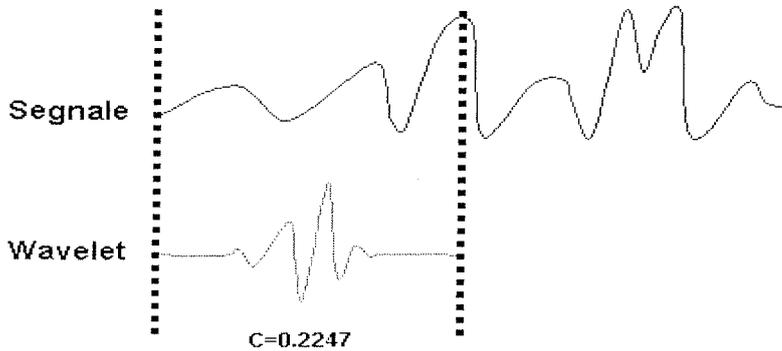


Figura 10: Allunghiamo la Wavelet (stretching).

- 3) Ripetiamo i passi dall'1 al 4 per tutti i fattori di scala.

Alla fine otteniamo i coefficienti relativi alle diverse scale e alle diverse porzioni del segnale. I coefficienti costituiscono i risultati di una regressione del segnale originale sulla Wavelet. Possiamo rappresentare i coefficienti su di una superficie in rilievo (Figura 11).

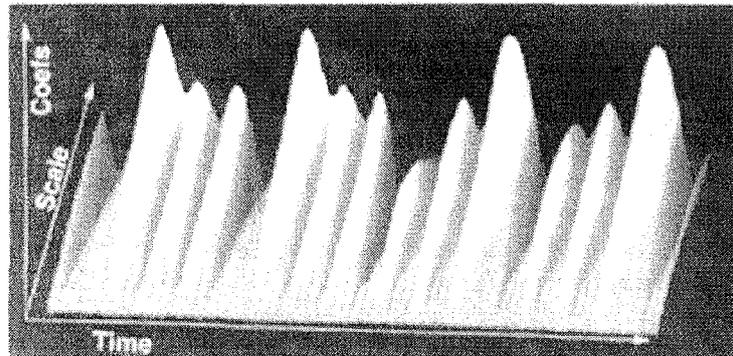


Figura 11: Il grafico a rilievo mostra visivamente i valori dei coefficienti in base alla scala e alla frequenza

I coefficienti della CWT sono appunto la visione "time-scale" del segnale a cui abbiamo accennato precedentemente. E' una visione differente rispetto a quella "time-frequency" di Fourier ma non senza correlazioni.

Scala e frequenza

I fattori di scala variano molto. Più sono grandi più la Wavelet è stata allungata (stretched). Più è allungata la Wavelet, maggiore è la porzione del segnale con cui viene confrontata e le caratteristiche del segnale saranno definite in maniera meno fine.

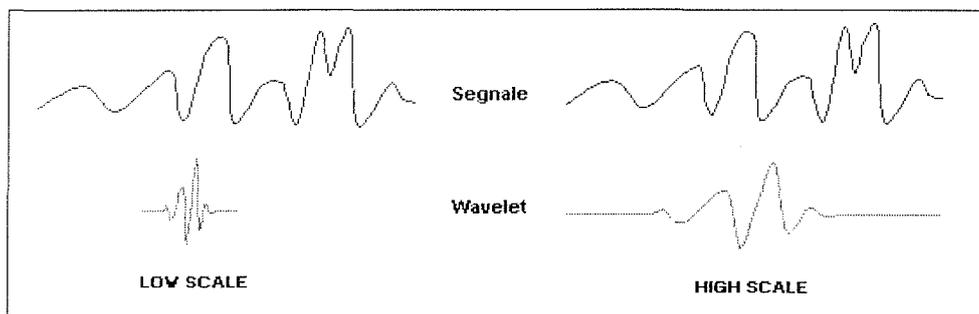


Figura 12: relazione tra fattori di scala utilizzati (scaling) e caratteristiche del segnale analizzate. C'è quindi una relazione (Figura 12) tra il fattore di scala delle Wavelet e la frequenza:

- Basso fattore di scala a = Wavelet compressa = struttura molto dettagliata = Alta frequenza ω .
- Alto fattore di scala a = Wavelet allungata = cambiamenti lenti, caratteristiche grossolane = Bassa frequenza ω .

E' importante capire che il fatto che la Wavelet Analysis non produce una visione "time-frequency" non è una debolezza, bensì uno dei punti di forza di questa tecnica. Non solo introduce un nuovo metodo di analisi dei dati, ma è il modo più naturale di analizzare i dati relativi a gran parte dei fenomeni naturali.

Continuos or Discrete Analysis

Ogni analisi di un segnale fatta con l'utilizzo di un computer utilizzando dati reali, deve essere effettuata su un segnale discreto, ovvero su un segnale che è stato misurato ad intervalli di tempo discreti. Bisogna ricordare che la Continuos Wavelet Transform opera anche su tempi discreti. L'elemento che distingue la CWT dalla Discrete Wavelet Transform (DWT) è la scala su cui operano. A differenza della DWT, la CWT può operare ad ogni fattore di scala, da quella del segnale originale fino alla massima scala di cui avete bisogno per analizzare il segnale vincolata solamente dalla potenza di calcolo del computer [WIC94]. La CWT è continua anche in termini di spostamenti: durante il procedimento la Wavelet viene spostata lentamente su tutto il dominio (Figura 13).

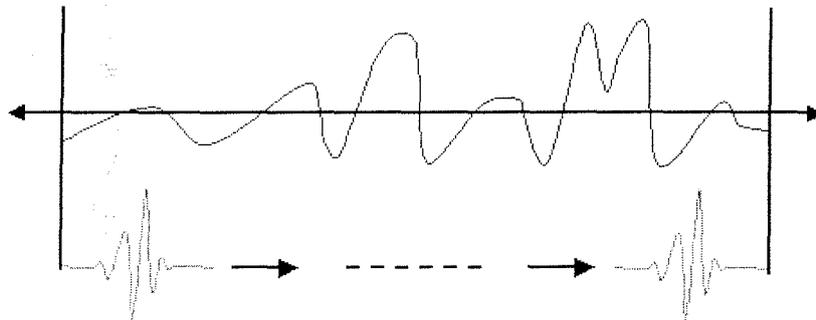


Figura 13: CWT. Spostamento lento e continuo della Wavelet su tutto il segnale

2.4 - The Discrete Wavelet Transform (DWT)

Calcolare i coefficienti Wavelet a tutti i possibili livelli di scala richiede un grossissimo lavoro e produce una grossa quantità di dati. Possiamo limitare l'analisi a solo alcune delle possibili scale e posizioni su cui effettuare i calcoli. Ne risulta che se scegliamo i fattori di scala e le posizioni basandoci su potenze di due (diadica), la nostra analisi sarà molto più efficiente e altrettanto accurata. Otteniamo questo tipo di analisi dalla Discrete Wavelet Transform (DWT). Un sistema efficiente per implementare questo tipo di schema utilizzando dei filtri, è stato sviluppato nel 1988 da Mallat [MAL89]. L'algoritmo di Mallat è, infatti, un classico schema conosciuto tra gli esperti di analisi dei segnali come "two-channel subband coder". Questo è un filtro molto pratico e produce una veloce trasformazione Wavelet restituendo rapidamente i coefficienti relativi al segnale [CDJ93]. Esaminiamolo in dettaglio.

Filtro ad uno stadio.

Per molti segnali la parte a bassa frequenza è quella più importante. E' quella che dà al segnale la sua identità. La parte ad alta frequenza conferisce 'sapore' o sfumature. Consideriamo la voce umana: se togliamo la componente ad alta frequenza, la voce sembra differente, ma possiamo

comunque capire cosa viene detto. Invece se rimuoviamo una parte consistente delle componenti a bassa frequenza sentiamo un suono incomprensibile. Per questo motivo nell'analisi Wavelet si parla spesso di approssimazione e dettaglio. Le approssimazioni sono la scala alta, componenti a bassa frequenza del segnale. Il dettaglio è la scala bassa, componenti ad alta frequenza. Il processo, al suo livello più semplice, può essere osservato nello schema sottostante (Figura 14).

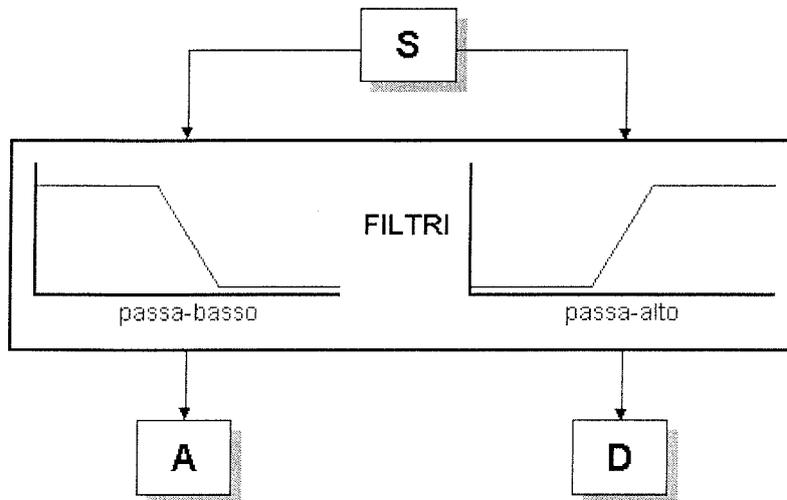


Figura 14: un semplice esempio di un filtro ad un solo stadio.

Il segnale originale **S**, passa attraverso due filtri complementari e ne esce diviso in due segnali: approssimazione **A** e dettaglio **D**.

Multilevel decomposition.

Il processo di decomposizione può essere reiterato, decomponendo le successive approssimazioni in modo da scomporre il segnale in più componenti a bassa risoluzione. Questo è chiamato "albero di decomposizione Wavelet" (Figura 15).

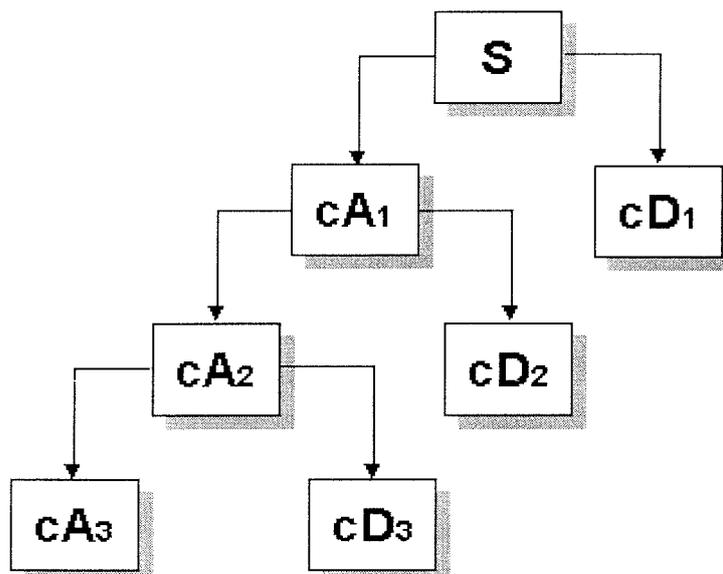


Figura 15: decomposizione multilivello. L'approssimazione derivante dalla prima decomposizione viene decomposta a sua volta.

Dalla semplice osservazione dello schema della decomposizione si possono ottenere informazioni interessanti (Figura 16).

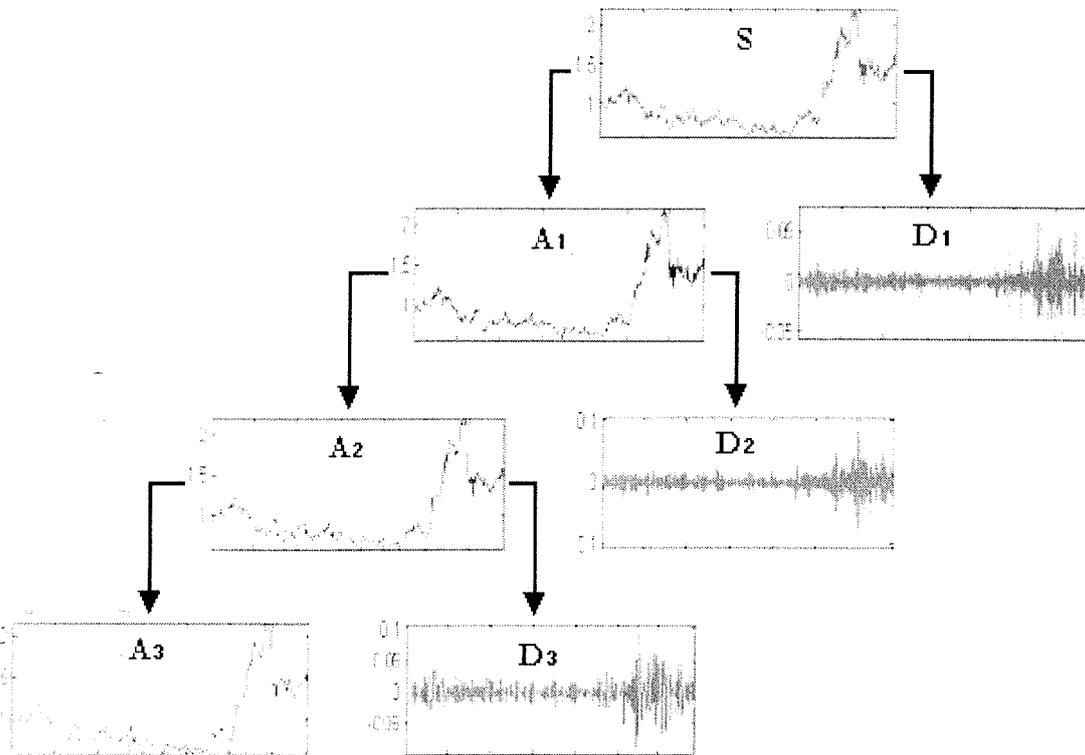


Figura 16: albero di decomposizione Wavelet. In questo esempio vengono mostrate le approssimazioni e i dettagli di una decomposizione su 3 livelli.

Numero di livelli

Un'analisi di tipo reiterato può in teoria continuare all'infinito. In realtà la decomposizione può continuare fino a quando il dettaglio è costituito da un singolo punto o pixel. In pratica sceglieremo un numero di livelli adatto alla natura del segnale o un criterio idoneo ad individualo come ad esempio uno basato sul contenuto entropico della decomposizione [COW92].

2.5 - Wavelet Reconstruction

Abbiamo osservato come la DWT può essere utilizzata per analizzare o decomporre segnali e immagini. L'altra metà della metodologia è come questi componenti possono essere ricomposti nel segnale originale senza alcuna perdita di informazioni. Il processo in esame è chiamato ricostruzione o sintesi. Il processo matematico utilizzato nella sintesi si chiama Inverse Discrete Wavelet Transform (IDWT). E' possibile effettuare la ricostruzione di un segnale scomposto ad un solo livello o a più livelli, sia per segnali ad una dimensione che per quelli a due dimensioni.

Filtri di ricostruzione

L'utilizzo dei filtri è molto importante nel processo in quanto la scelta del filtro di ricostruzione del segnale è una delle parti cruciali per ottenere una corretta ricostruzione del segnale. Una discussione approfondita su come modellare tali filtri può essere trovata in [STR96]. I filtri di decomposizione passa-basso e passa-alto (L e H), insieme con i rispettivi filtri di ricostruzione (L' e H'), formano un sistema chiamato "quadrature mirror filter".

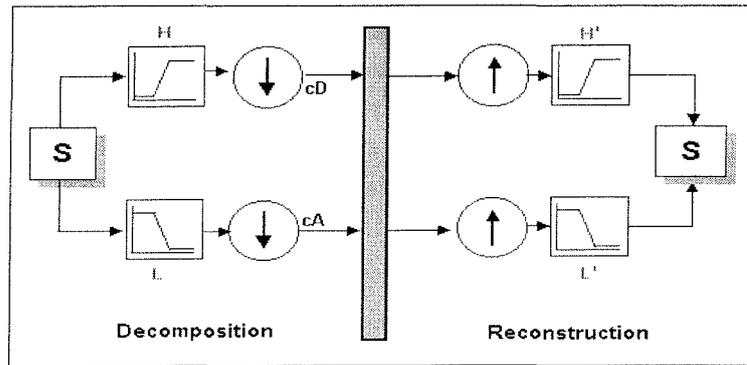


Figura 17: quadrature mirror filter. A sinistra la parte relativa alla decomposizione del segnale. A destra la parte relativa alla ricostruzione del segnale

Oltre a poter ricostruire il nostro segnale originale dai coefficienti dell'approssimazione e del dettaglio, è possibile anche ricostruire l'approssimazione e il dettaglio dai loro coefficienti vettoriali. L'approssimazione e il dettaglio così ricostruiti, danno il segnale originale se riaggregati.

Relazione tra filtri e Wavelet

Precedentemente abbiamo spiegato l'importanza della scelta del filtro per una corretta ricostruzione del segnale. Infatti la scelta del filtro non incide solamente sulla possibilità di una perfetta ricostruzione, ma determina anche la forma della Wavelet da utilizzare nell'analisi. A volte per costruire una Wavelet si parte disegnando una forma d'onda. E' più sensato però delineare un "quadrature mirror filter" e usarlo per creare una Wavelet appropriata.

Questa relazione ha profonde implicazioni. Significa che non possiamo scegliere una forma di Wavelet qualunque e fare l'analisi se vogliamo essere in grado di ricostruire il segnale. Siamo obbligati a sceglierne una determinata del "quadrature mirror filter".

The scaling function

Abbiamo esaminato le correlazioni tra Wavelet e "quadrature mirror filter". La Wavelet ψ è determinata dal filtro passa-alto, che nella decomposizione, produce anche il dettaglio.

Esiste un'altra funzione associata ad alcune Wavelet ma non a tutte. E' chiamata "scaling function" ϕ , ed è molto simile alla "Wavelet function". E' determinata dal filtro passa-basso e quindi associata nella decomposizione alle approssimazioni.

Multistep decomposition and reconstruction

Il processo d'analisi e ricostruzione su più livelli, può essere illustrato graficamente dalla figura seguente (Figura 18).

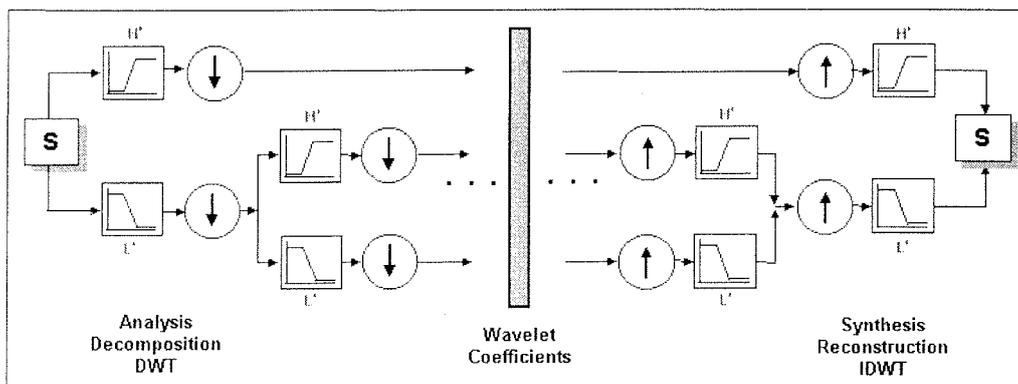


Figura 18. Analisi e decomposizione su più livelli. A sinistra la fase dell'analisi su due livelli e a destra la fase di ricostruzione del segnale.

Questo processo comprende tre aspetti. Scomporre il segnale per ottenere i coefficienti della Wavelet, modificare i coefficienti e infine ricostruire il segnale dai coefficienti. Ovviamente non ha nessun senso scomporre un segnale per ricomporlo subito dopo. Utilizziamo questo tipo d'analisi in quanto i coefficienti sono necessari per depurare il segnale e comprimerlo. L'analisi Wavelet è un campo nuovo ed emergente. Sicuramente emergeranno molti nuovi possibili utilizzi dei coefficienti. Il Wavelet Toolbox di Matlab può essere un mezzo per esplorarne le possibili applicazioni [MER93].

2.6 - Storia delle Wavelet

Da un punto di vista storico, l'analisi Wavelet è un metodo nuovo, anche se i suoi fondamenti matematici risalgono al lavoro di Joseph Fourier nel diciannovesimo secolo. Fourier ne ha costruito le fondamenta con la sua teoria di analisi della frequenza, che si è dimostrata enormemente importante e autorevole. L'attenzione dei ricercatori si spostò gradualmente da un'analisi basata sulle frequenze ad un'analisi basata su fattori di scala, quando diventò chiaro che un approccio che misura le fluttuazioni medie a scale differenti poteva essere poco sensibile ai disturbi.

La prima volta che venne citato il termine "Wavelet" fu nel 1909 in una tesi di Alfred Haar. Il concetto di Wavelet nella sua attuale teoria fu proposto per primo da Jean Morlet e dal gruppo al Centro Fisico Teorico di Marsiglia che lavorava sotto la guida di Alex Grossman. Il metodo di analisi delle Wavelet è stato sviluppato principalmente da Y.Meyer e dai suoi colleghi, che ne hanno assicurato la diffusione. L'algoritmo principale risale al lavoro di Stephane Mallet nel 1988. Da allora la ricerca sulle Wavelet è diventata internazionale. Ad oggi è particolarmente attiva negli Stati Uniti, capeggiata da scienziati del calibro di Ingrid Daubechies, Ronald Coifman e Victor Wickerhauser.

2.7 - Introduzione alle diverse famiglie di Wavelet

Molte delle famiglie di Wavelet [LEM90] [MEY90] che hanno dimostrato di essere particolarmente utili sono implementate del Wavelet Toolbox di Matlab. Esaminiamo velocemente i principi fondamentali di ognuna e le loro forme (Figura 19).

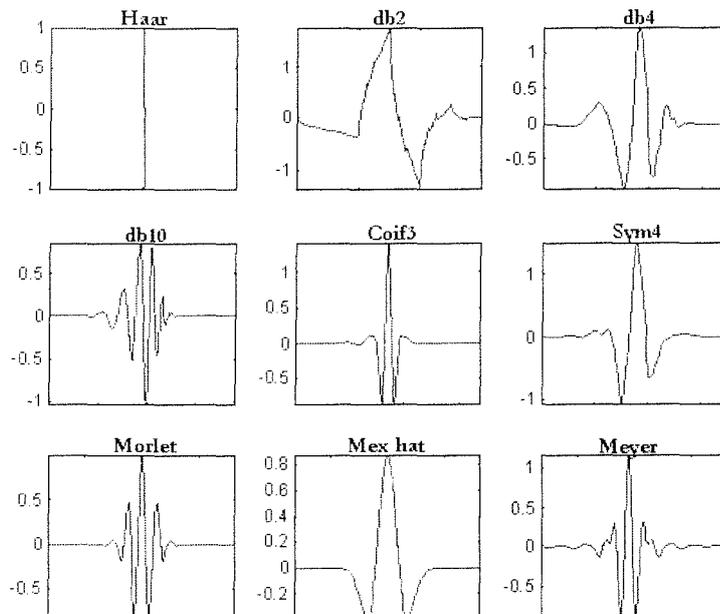


Figura 19: diverse tipologie di Wavelet. Dall'altro verso il basso abbiamo: Haar, db2, db4, db10, Coif3, Sym4, Morlet, Mexican hat, Meyer.

Haar: ogni possibile discussione sulle Wavelet deve iniziare dalla Haar, la prima e la più semplice. E' discontinua e riproduce una funzione a gradino. Rappresenta la stessa Wavelet della db1.

Daubechies: Ingrid Debauchies, una delle persone più importanti nel campo delle Wavelet, inventò le Wavelet ortonormali definite su un supporto compatto [CDF92], permettendo la Discrete Wavelet Analysis. Il nome delle Wavelet della famiglia Daubechies è scritto dbN, dove N indica l'ordine. Come precedentemente detto la db1 corrisponde alla Haar.

Biortogonali: le Wavelet di questa famiglia sono caratterizzate da una fase lineare, necessaria per la ricostruzione di segnali ed immagini. Usando due diverse Wavelet, una per la decomposizione e una per la ricostruzione invece di una sola, ne derivano interessanti proprietà.

Coiflets: costruite da I.Daubechies su richiesta di R. Coifman, queste Wavelet hanno 2N momenti uguali a zero e la funzione di scala ha 2N-1 momenti uguali a zero. Le due funzioni hanno un supporto di lunghezza 6N-1.

Symlets: le symlets sono Wavelet quasi simmetriche proposte da I.Daubechies come variante della famiglia dbN. Le proprietà dei due tipi di Wavelet sono simili.

Morlet: questa Wavelet non ha fattori di scala ma la forma è abbastanza esplicita come si può vedere dai grafici (figura 19).

Mexican hat: non ha fattore di scala ed è derivata da una funzione proporzionale alla derivata seconda della funzione di densità di probabilità Gaussiana.

Meyer: La Wavelet di Meyer e la funzione di scala sono definite nel dominio della frequenza.

2.8 - Depurare un segnale

Utilizzando la Wavelet Analysis è possibile depurare un segnale dal "rumore" (de-noising), scomponendolo in approssimazione e dettaglio. Il numero di livelli della decomposizione dovrà essere scelto in base al tipo di segnale e alle sue caratteristiche. In questo esempio (Figura 20) effettueremo una decomposizione su 5 livelli di una serie storica finanziaria utilizzando come Wavelet la Coif3.

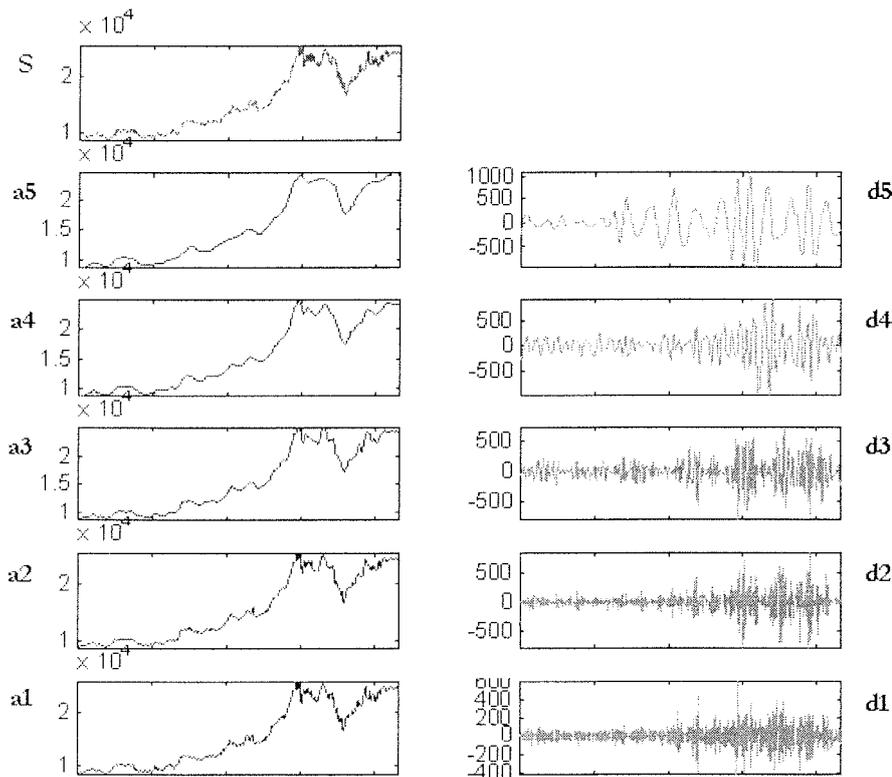


Figura 20: Decomposizione su 5 livelli di una serie storica finanziaria utilizzando la Coif3.

Il riquadro in alto a sinistra, rappresenta il segnale originale (S) che in questo esempio è dato dalla serie storica del Mibtel. Sotto abbiamo le approssimazioni ai cinque livelli di analisi. La prima approssimazione (a1) è ancora abbastanza grezza ma reiterando l'analisi alla fine otteniamo un segnale depurato da ogni rumore (a5). Quest'ultima approssimazione (a5) evidenzia anche il reale trend della serie storica.

Nella parte destra della Figura 21 abbiamo i dettagli relativi ai 5 livelli di decomposizione (d1 d2 d3 d4 d5) che rappresentano il "noise". È importante analizzare visivamente e numericamente i dettagli per assicurarsi di aver depurato il segnale solo dal rumore e non aver tolto componenti significative. Nel nostro esempio (Figura 20) si può notare che i vari livelli di dettaglio hanno approssimativamente la stessa scala e sono di 3 ordini di grandezza inferiori al segnale originale. A dimostrazione eseguiamo il test di normalità sull'errore relativo e vediamo che rientrano pienamente nella normalità (Figura 21).

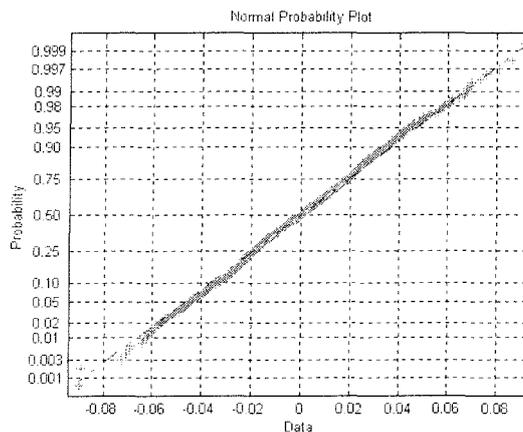


Figura 21: test di normalità sull'errore relativo. La striscia rappresenta gli errori, tutti vicinissimi alla linea che ne indica il grado di normalità.

Possiamo considerare il segnale originale come la somma dell'approssimazione di 5° livello (a5) e di tutti i livelli di dettaglio: $S = a5 + d1 + d2 + d3 + d4 + d5$.

Nel riquadro superiore della Figura 22 possiamo vedere il confronto tra il segnale originale (S), con andamento frastagliato, e la sua approssimazione (a5), più regolare. Come si può vedere l'approssimazione ha un andamento più morbido e meno frastagliato rispetto al segnale. Nel riquadro inferiore, abbiamo la somma degli errori relativi.

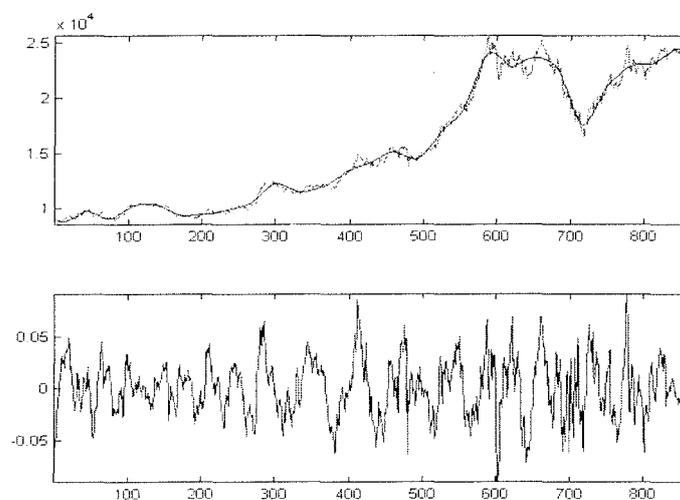


Figura 22: Nella parte superiore abbiamo un confronto visivo tra il segnale S e l'approssimazione a5. Nella parte inferiore abbiamo l'andamento dell'errore relativo.

3 - Wavelet Simulation

In questo capitolo viene proposta una metodologia per costruire delle simulazioni storiche di scenario mediante una tecnica di filtraggio basata sulla Wavelet Decomposition.

3.1 - Simulazione storica di scenario mediante filtraggio basato sulla Wavelet Decomposition: Wavelet Simulation

Nel capitolo precedente è stato mostrato come il filtraggio mediante Wavelet Decomposition permette di separare le componenti di un segnale t -dependent su una scala discreta di pseudo-frequenze. Una opportuna ricomposizione parziale delle componenti principali può consentire di ottenere una separazione del segnale su base fenomenologica, riuscendo a distinguere effetti additivi generati da sorgenti differenti. Un esempio è fornito dalla decomposizione del segnale costituito dal prezzo di chiusura del Mibtel (Figura 23).

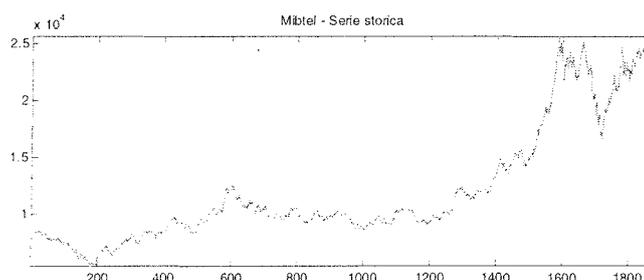


Figura 23: Mibtel, serie storica del prezzo di chiusura dal 1/1/1992 al 13/5/1999.

La Wavelet Decomposition su 5 livelli di approssimazione/dettaglio (riportata in figura 24) mette in evidenza una doppia sorgente: quella associata al livello a5 e una sorgente di natura complessa che genera le strutture d1, d2, d3, d4 e d5.

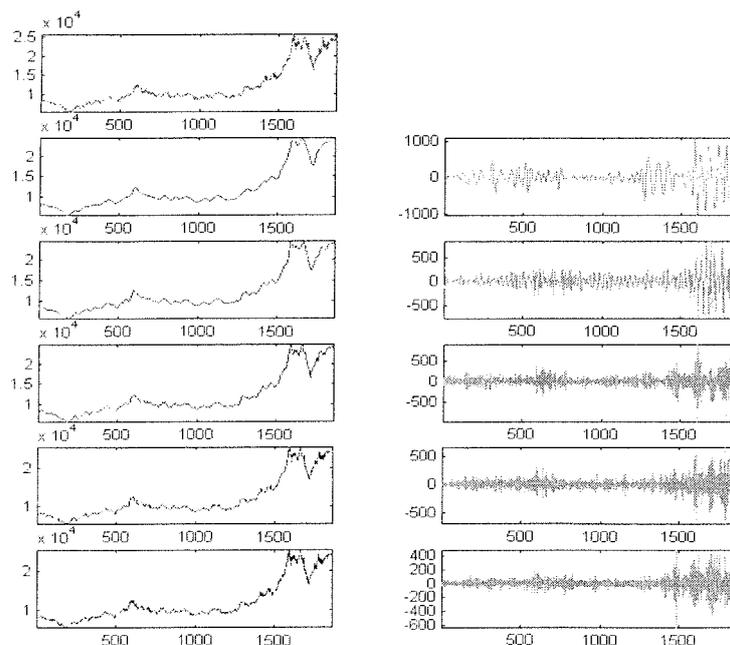


Figura 24: decomposizione del Mibtel su 5 livelli (vedi paragrafo3).

In figura 25 sono mostrati i segnali associati alle due sorgenti e confrontati con il segnale originale. La natura dei due segnali può essere attribuita a una componente strutturale, $s(t)$, e a una componente stocastica eteroschedastica, $n(t)$. Nel caso dell'indice Mibtel la componente strutturale può essere identificata come il valore di mercato dell'indice a cui si somma una componente di rumore ('noise') generata dalle micro-oscillazioni.

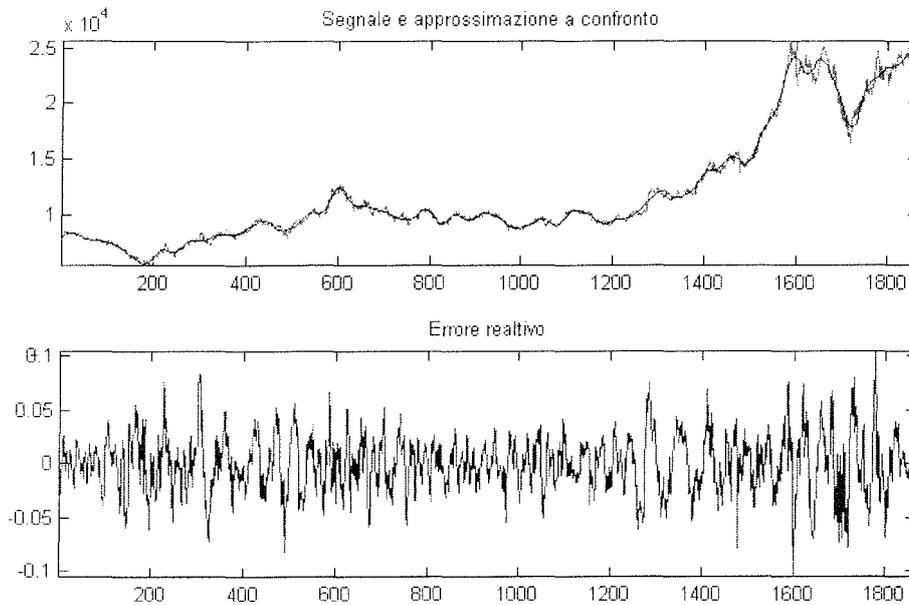


Figura 25: nel riquadro superiore abbiamo la serie storica e l'approssimazione di 5° livello. Nel riquadro inferiore abbiamo l'errore relativo.

A partire da tali considerazioni qui si propone una metodologia per ottenere una distribuzione del valore previsto del segnale (il valore di un titolo finanziario o qualunque altra funzione t -dependent) a un tempo $t+\tau$ nel caso in cui la componente stocastica possa essere separata da quella strutturale.

Sia $p(t)$ un segnale dipendente dal tempo separabile in una componente strutturale deterministica, $s(t)$, e una componente stocastica, $n(t) \sim n(\cdot)$:

$$p(t) = s(t) + n(t) \quad (3.1)$$

qui $n(t)$ identifica una realizzazione da $n < (\cdot)$.

La componente strutturale, $s(t)$, sebbene di natura deterministica, può essere generata da un sistema complesso di relazioni (oppure non noto allo sperimentatore) e pertanto una stima a un tempo futuro τ effettuata da un sistema previsionale può essere affetta da errore. Se $\hat{s}(t + \tau)$ rappresenta una stima al tempo $t + \tau$ della componente strutturale di cui si dispongono osservazioni fino al tempo t si può allora scrivere:

$$s(t + \tau) = \hat{s}(t + \tau) + \varepsilon(t) \quad (3.2)$$

in cui $\varepsilon(t)$ identifica l'errore commesso dal sistema predittivo al tempo τ . $\varepsilon(t)$ è una componente stocastica la cui natura è differente rispetto a $n(t)$ (additiva rispetto a questa) e dipende dal modello predittivo adottato.

Il valore del segnale p al tempo $t + \tau$ può allora essere scritto come:

$$p(t + \tau) = \hat{s}(t + \tau) + \varepsilon(t + \tau) + n(t + \tau) \quad (3.3)$$

A partire dalla stima di $s(t+\tau)$ si può ottenere una distribuzione di $p(t+\tau)$ simulando un set di realizzazioni di ε e n al tempo $(t+\tau)$, ovvero campionando mediante un generatore di numeri casuali dalla distribuzione della variabile aleatoria generata dalla loro somma.

In termini operativi si procede nel seguente modo:

1. Si determina una opportuna decomposizione del segnale di origine, $p(t)$, in una componente strutturale, $s(t)$, e una componente stocastica, $n(t)$. La distribuzione empirica della componente stocastica viene utilizzata come distribuzione della variabile n .
2. Si costruisce un modello predittivo $M_s(t + \tau, \theta)$ per la componente strutturale $s(t)$ al tempo $t + \tau$ (AR, ARMA, Artificial Neural Network, Neuro-Genetic Models, etc..).
3. Si determinano i parametri θ del modello $M_s(t + \tau, \theta)$ su un sottoinsieme delle osservazioni $s(t)$ (training set) utilizzando una tecnica di crossvalidation calibrata su un insieme disgiunto (validation set). Un terzo insieme di dati (test set) viene utilizzato per valutare le capacità predittive del modello previsionale adottato. Dalle stime effettuate sul test set si ottiene la distribuzione empirica di ε . Tale distribuzione empirica viene adottata come modello di distribuzione per la variabile ε ;
4. Si utilizza il modello $M_s(t + \tau, \theta)$ per ottenere una stima $\hat{s}(t + \tau)$ della componente strutturale al tempo $(t + \tau)$;
5. Si costruisce la distribuzione della variabile $k = \varepsilon + n$ utilizzando le distribuzioni empiriche di $\varepsilon(t)$ e $n(t)$;
6. Si effettua un numero elevato di campionamenti dalla distribuzione di k le cui realizzazioni sommate alla stima $\hat{s}(t + \tau)$ permettono di ottenere una simulazione della distribuzione di $p(t + \tau)$;
7. La distribuzione predittiva di $p(t + \tau)$ può essere utilizzata per determinare il valore atteso previsto e la varianza del segnale. Se il segnale è il prezzo di un titolo (o di un indice) finanziario tale distribuzione può essere utilizzata per determinare una distribuzione dei rendimenti previsti mediante la $r(t + \tau) = \log(p(t + \tau)) / \log(p(t))$ o una stima del VAR determinando la soglia al 5% (o all'1%) della distribuzione dei rendimenti.

L'approccio descritto precedentemente viene denominato da ora in poi Wavelet Simulation (WS).

Nel caso, oggetto di questo lavoro, dell'utilizzo della Wavelet Simulation per l'allocazione di portafoglio è necessario sviluppare una metodologia multivariata. Questa segue in maniera diretta da quanto discusso sopra in cui si sostituisce una matrice di segnali $p(t)$ al singolo vettore $p(t)$. La Wavelet Decomposition avviene nello spazio n -dimensionale della matrice $p(t)$ e la varianza delle componenti stocastiche viene sostituita dalla matrice di covarianza tra le n componenti. Una prima analisi della metodologia mette subito in evidenza alcune difficoltà sia concettuali che operative.

Distribuzione delle componenti stocastiche

Un modello per la distribuzione delle componenti stocastiche, ε e n , deve tenere conto sia della distribuzione storica che della dipendenza dal tempo della varianza (eteroschedasticità) cercando di bilanciare gli effetti storici con quelli di corto-medio periodo. Se per il termine ε si può ragionevolmente pensare a una distribuzione normale omoschedastica in quanto dipende dalla metodologia previsionale adottata, il termine n invece presenta una eteroschedasticità abbastanza pronunciata (vedi figura 3). Inoltre le due componenti non è detto che siano

indipendenti. Per il Mibtel il coefficiente di correlazione lineare tra i due termini stocastici, nell'ambito di semplice modello predittivo di tipo AR(1), è positivo (se la volatilità aumenta allora diminuisce la capacità predittiva) ma quasi trascurabile (pari a 0.022). Del resto la correlazione tra i due termini dipende molto dal modello predittivo adottato. Infine se la distribuzione della componente stocastica presenta delle irregolarità è necessario ricorrere a delle tecniche di campionamento computer-intensive tipo simulazione MonteCarlo. Tuttavia, si può ragionevolmente pensare che le due componenti stocastiche seguano una distribuzione normale sebbene a varianza dipendente dal tempo e con un certo grado di correlazione. Si pone allora il problema di stimare anche la varianza condizionale delle due distribuzioni. Ciò può essere fatto, per esempio, mediante un modello GARCH. In questo lavoro si è volutamente seguito un percorso alternativo con l'obiettivo di focalizzare l'attenzione sulla valutazione delle potenzialità della metodologia agendo entro un ambito di forti approssimazioni. Successivamente si potranno introdurre livelli di raffinatezza superiore che non potranno che migliorare le performance predittive.

La prima approssimazione riguarda un tentativo di eliminare, o perlomeno ridurre, il contributo eteroschedastico della componente aleatoria ottenuta dalla Wavelet Decomposition dividendo per il corrispondente valore della componente strutturale. In questo caso il rumore viene trattato nei termini di rumore relativo e l'equazione (2.3) diventa:

$$p(t) = s(t) + \frac{n(t)}{s(t)}s(t) = s(t) + \tilde{n}(t)s(t) \quad (3.4)$$

L'ipotesi che si pone a questo punto è che $\tilde{n}(t)$ segua una distribuzione normale omoschedastica, ossia $\tilde{n}(t) \sim N(0, \sigma_e)$, in cui la varianza è ottenuta dalla distribuzione storica. La riduzione della eteroschedasticità, nel caso del Mibtel, è mostrata in figura 26 e 27 in cui sono messi a confronto i norm-plot e lo scatterplot sia per il rumore, $n(t)$, che per il rumore relativo $\tilde{n}(t)$. La stessa indicazione viene fornita dal test di normalità di Kolmogorov che passa da 0.099 a 0.021 mentre la soglia per la significatività al 95% è di 0.031.

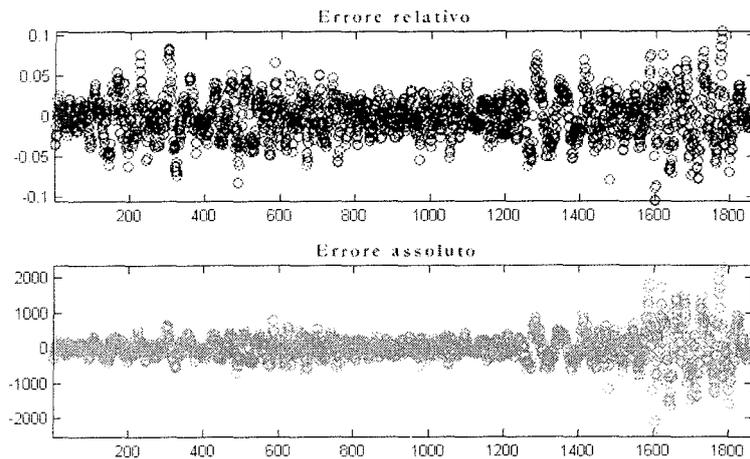


Figura 26: confronto tra lo scatter-plot dell'errore relativo in alto e dell'errore in termini assoluti in basso.

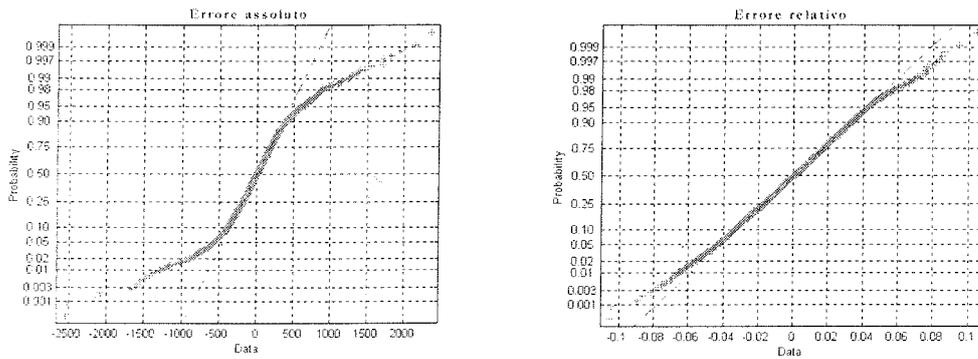


Figura 27: confronto tra il norm-plot dell'errore relativo a sinistra e dell'errore in termini assoluti a destra.

Una distribuzione del segnale al tempo $(t + \tau)$, a partire da una stima della componente strutturale a $t + \tau$ note le osservazioni sino al tempo t , si ottiene dalla:

$$\begin{aligned}
 p(t + \tau) &= s(t + \tau) + \tilde{n}(t + \tau)s(t + \tau) \\
 &= \hat{s}(t + \tau) + \varepsilon(t + \tau) + \tilde{n}(t + \tau)(\tilde{s}(t + \tau) + \varepsilon(t + \tau))
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Può essere ragionevole supporre che la parte casuale, ε , associata alla stima della componente strutturale, sia distribuita normalmente $\varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon)$. Tale ipotesi è tanto più attendibile quanto migliore è il modello previsivo adottato e comunque da esso dipende. Per riassumere, il quadro delle approssimazioni entro cui viene implementata e testata la Wavelet Simulation è il seguente:

1. il rumore associato alla Wavelet Decomposition assume una distribuzione normale eteroschedastica ma il rumore relativo assume una distribuzione normale omoschedastica;
2. il termine di errore associato al modello predittivo adottato assume una distribuzione normale omoschedastica;
3. le due sorgenti di rumore sono indipendenti.

Tutte e tre sono delle approssimazioni piuttosto importanti e se ne dovrà tenere conto in fase di consuntivo sulle potenzialità dello strumento. In particolare la seconda prevede una caratterizzazione profonda dello schema predittivo. Un modello troppo semplificato tenderà a introdurre dei forti elementi di distorsione. Infatti, seppure depurato dalle componenti a frequenza medio-alta, il segnale $s(t)$ può presentare degli elementi di complessità legati alla struttura del fenomeno da cui si origina. Tale è il caso dei segnali finanziari. Le variabili e le relazioni che influenzano il valore di un titolo o di un indice non sono generalmente note a priori e generalmente assumono degli andamenti dipendenti dal tempo. Lo schema predittivo deve pertanto tenere conto di tale complessità.

In questa lavoro si è però scelto un modello predittivo molto semplificato con l'obiettivo di mettere in evidenza le potenzialità di un filtraggio basato sulle Wavelet. Tutte le stime previsive sono quindi ottenute entro un semplice modello autoregressivo di tipo AR. L'affinamento del sistema predittivo entro classi di modelli neuro-genetici viene lasciato ad una fase di sviluppo della metodologia.

Un altro elemento delicato della Wavelet Simulation riguarda gli effetti di bordo (descritti nel paragrafo successivo) e l'efficacia della Wavelet Decomposition. Tanto migliore è il trattamento del bordo e la decomposizione tanto più le ipotesi poste risulteranno vere e lo schema predittivo efficace. Una prima immediata applicazione della Wavelet Simulation può essere la determinazione del VAR (Value at Risk) su un singolo titolo (o indice). Se vengono simulate 10.000 realizzazioni dei fattori di rischio sommate alla stima al tempo futuro della componente strutturale, una indicazione del VAR al 95%, in termini di rendimento, è data dal 501 elemento della serie ordinata dei rendimenti simulati (vedi figura 28).

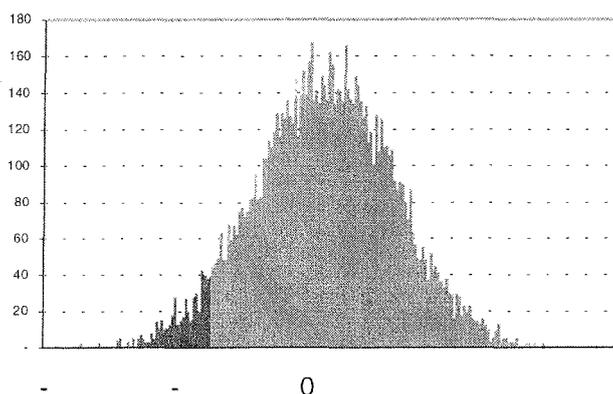


Figura 28: applicazione della WS al calcolo del Var al 95%.

Nel caso dell'indice Mibtel sono stati simulati ex-ante tutti i valori del VAR a 1 giorno rispetto al prezzo di chiusura dall'agosto 1998 al maggio 1999. I risultati ottenuti mettono in evidenza che su 200 osservazioni solo nel 2% percento dei casi le osservazioni sperimentali dei rendimenti sfiorano il valore previsto del VAR contro il 5% stimato. Questa è una indicazione della bontà dell'approccio pur entro il quadro di forti approssimazioni adottate. Avendo a disposizione la distribuzione dei rendimenti previsti si può pensare di riutilizzare la tecnica di allocazione di un portafoglio azionario basata sui rendimenti e varianze storiche, modello di Markowitz, adottando però le distribuzioni previste dei rendimenti dei singoli titoli piuttosto che quelle storiche.

Anche in questo caso piuttosto che costruire una metodologia multivariata che costringerebbe a un campionamento da distribuzioni multivariate è stato scelto un approccio semplificato basato sulle distribuzioni storiche. In pratica piuttosto che considerare un vettore di 20 elementi (numero di titoli utilizzati) e affrontare l'onere di una Wavelet Decomposition in uno spazio multivariato si è preferito lavorare in ambito univariato, titolo per titolo, per quanto riguarda la distribuzione dei rendimenti da cui determinare il valore atteso del rendimento a $t+\tau$ e utilizzare i dati storici per ottenere la matrice di covarianza tra le diverse distribuzioni. In questo caso diventa cruciale la scelta delle dimensioni del campione su cui determinare la matrice di covarianza.

3.2 - Il problema

L'obiettivo del lavoro è quello di implementare un sistema automatico per guidare l'ottimizzazione di un portafoglio azionario. Ci poniamo nell'ottica di un gestore di fondi che può quindi operare in modo veloce, professionale e con minori costi di transazione rispetto ad un singolo investitore. L'operatore dovrà cercare di ottimizzare il portafoglio bilanciando rendimento e rischio, in modo da ottenere una buona performance. L'orizzonte temporale su cui viene calibrato l'investimento è un anno con monitoraggi periodici ogni mese in cui valutiamo eventuali modifiche della composizione. Alla fine del periodo il capitale verrà ritirato uscendo dall'investimento.

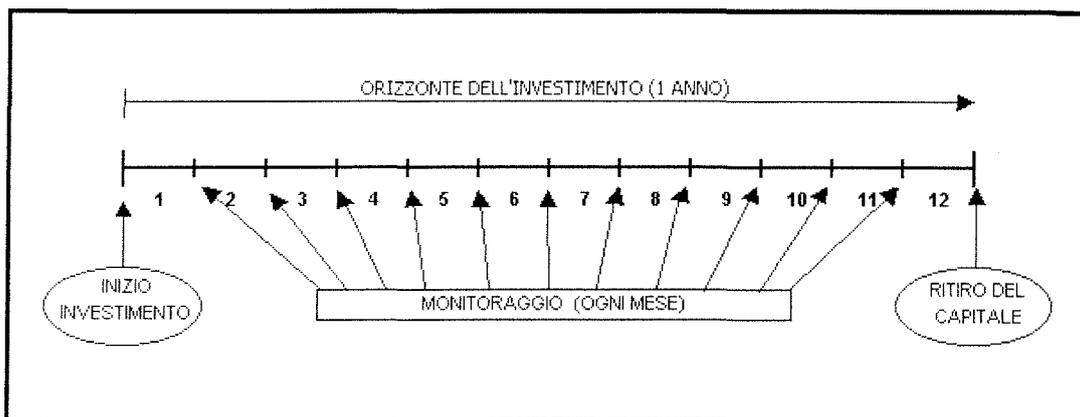


Figura 29: descrizione del problema. Sull'asse temporale sono rappresentati i dodici mesi. L'investimento è calibrato sulla durata di un anno con monitoraggi mensili.

Useremo sia una tecnica di ottimizzazione classica basata sulla distribuzione storica dei rendimenti utilizzando il modello Media-Varianza di Markowitz sia la Wavelet Simulation. L'ottimizzazione classica serve solamente da confronto con la Wavelet Simulation. Entrambe le tecniche scelgono il portafoglio che meglio soddisfa la funzione di utilità e la predisposizione rispetto al rischio

Scelta delle attività su cui investire

Le attività su cui possiamo investire sono azioni quotate alla Borsa Valori di Milano. L'idea, infatti, è di simulare l'attività di gestione di un Fondo Azionario Italiano. Tra tutti i titoli quotati a Piazza Affari ne abbiamo selezionati 20:

- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. Alitalia | 11. Finmeccanica |
| 2. Alleanza | 12. Generali |
| 3. Banca di Roma | 13. Italgas |
| 4. Banca Fideuram | 14. Mediobanca |
| 5. Banca Intesa | 15. Montedison |
| 6. Banca Lombarda | 16. Olivetti |
| 7. Banca Popolare di Brescia | 17. Pirelli S.p.a. |
| 8. Benetton | 18. Ras |
| 9. Comit | 19. Telecom Italia |
| 10. Fiat | 20. Unicredito Italiano |

I motivi della scelta sono i seguenti:

- Nelle simulazioni sono stati utilizzati i dati storici a partire dal 1/1/1992 fino al 31/12/99. Si sono dovuti scartare tutti i titoli la cui rilevazione è iniziata in epoca successiva.
- Sono stati scelti i titoli a maggiore capitalizzazione di Borsa in modo da costruire un paniere omogeneo di titoli simile al Mib30 (che non era possibile utilizzare in quanto alcuni titoli che lo compongono avevano serie storiche troppo brevi).
- L'utilizzo di solo 20 tra i titoli più importanti consente una più rapida elaborazione dei dati, permettendo ugualmente di simulare in modo realistico la gestione del portafoglio di un operatore professionale.

Vincoli nella composizione dei portafogli.

Il calcolo della frontiera efficiente e dei portafogli che la compongono è sottoposta ad alcuni vincoli:

- 1) valore minimo investito in ciascuna azione = 0
- 2) valore massimo investibile in una singola azione = 0.5

3) valore da investire = 1

1) Si specifica che il gestore non è obbligato ad investire un ammontare minimo anche nei titoli che non ritiene appetibili. Siamo quindi in piena libertà di scelta e l'algoritmo è libero di scartare i titoli che non soddisfano i suoi criteri di ottimizzazione.

2) Si limita l'investimento massimo in un singolo titolo al 50% del totale del valore del portafoglio. Questo impedisce che una concentrazione eccessiva del capitale su una sola azione, anche se molto più appetibile delle altre (situazione che si è verificata durante i test prima di introdurre tale vincolo). Si è voluto evitare che una scarsa diversificazione legasse le sorti del portafoglio alle fluttuazioni di un solo titolo

3) Stabilisce che in ogni periodo dobbiamo investire nelle azioni l'intera somma a disposizione. Non è possibile comporre portafogli che utilizzino solo una parte di questo capitale o che richiedano di prendere a prestito altre somme. Bisognerà sempre investire nelle azioni tutto il capitale disponibile a quel dato momento.

Criteri di scelta del portafoglio ottimale

Ottenuta la frontiera efficiente in base ai vincoli, è necessario scegliere uno dei portafogli che la compongono. Questi portafogli sono "efficienti" e quindi non dominati. Nessuno di questi è in assoluto migliore, la scelta dipende dalla funzione di utilità dell'investitore (in questo caso il gestore) e dalla sua avversione al rischio. Un investitore avverso al rischio tenderà ad accettare portafogli con un rendimento non eccellente pur di aver un rischio più contenuto. Uno più spregiudicato invece effettuerà la scelta opposta: prospettiva di un elevato guadagno con un rischio maggiore [CAN91].

Durante le simulazioni abbiamo testato diversi criteri di scelta, ognuno dei quali rappresenta un differente profilo di investitore:

ReR (Rendimento/Rischio): con questo criterio scegliamo il portafoglio che massimizza il rapporto tra valore atteso e varianza. Questo criterio presuppone una neutralità dell'investitore rispetto al rischio evidenziando ottimi risultati nelle simulazioni.

Utilità: il portafoglio ottimale sarà quello che massimizza la nostra funzione di utilità definita come:

$$U = E(r) - 0.005 * A * var \quad (3.6)$$

dove:

U = valore dell'utilità. Il portafoglio ottimale sarà quello con il valore di utilità maggiore.

$E(r)$ = rendimento atteso del portafoglio

A = indice di avversione al rischio

var = varianza del portafoglio

L'indice di avversione al rischio A può avere valori compresi nell'intervallo da 2 a 4, dove un valore alto rappresenta una minore tolleranza al rischio. Agendo su questo coefficiente è possibile adattare il criterio alla predisposizione al rischio del gestore. Nelle simulazioni il parametro ha valore 3.

Value at Risk: all'interno della frontiera efficiente verrà scelto il portafoglio con il minor VaR (valore a rischio). Questo criterio descrive un comportamento molto prudente che rispecchia una spiccata avversione al rischio in quanto tra tutti i portafogli non dominati viene scelto quello che garantisce perdite inferiori [BES89] [DOW89] [JOR97] [MOR96] [PED99].

Monitoraggio mensile

Ogni mese ricostruiamo la frontiera efficiente e il portafoglio ottimale in base al criterio utilizzato. Calcoliamo anche il rendimento atteso e il rischio del portafoglio che stiamo detenendo (che presumibilmente non sarà più sulla frontiera efficiente e quindi non più ottimale in base al criterio).

A questo punto dobbiamo confrontare le due ipotesi. Può accadere, infatti, che il nuovo portafoglio ottimale (che è appunto considerato migliore di quello vecchio), sotto il peso delle commissioni necessarie per passare da una posizione all'altra (fissate allo 0.02%), non sia la scelta più conveniente per il gestore. I casi che si possono verificare sono:

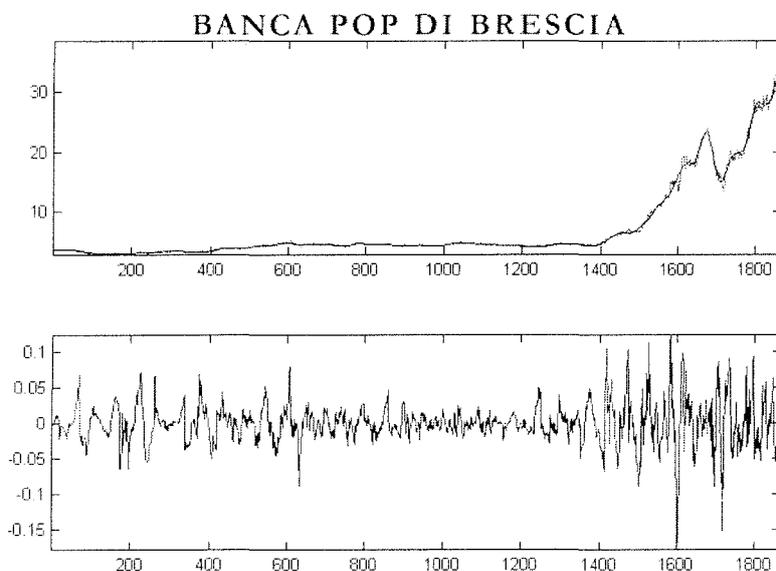
1) Il nuovo portafoglio ottimale rimane comunque il migliore anche dopo il calcolo delle commissioni. In questo caso procederemo alla revisione del portafoglio per passare alla nuova composizione.

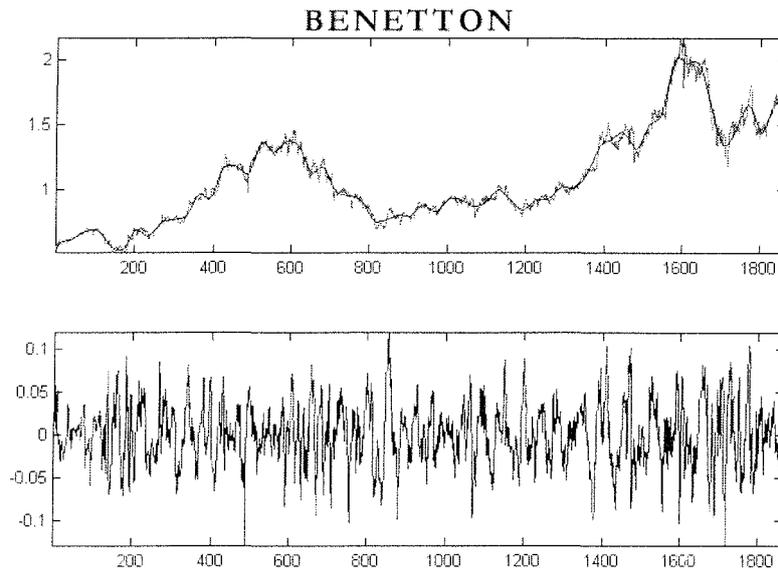
2) Il vecchio portafoglio rimane preferibile in quanto le spese di commissione necessarie per cambiare la composizione del portafoglio sono superiori al vantaggio che si otterrebbe con la nuova composizione.

E' possibile che in periodi non particolarmente buoni per il mercato borsistico le nostre previsioni sul rendimento futuro siano negative. Questo significa che anche i portafogli migliori porterebbero ad un rendimento negativo. Se fossimo costretti ad investire comunque, potremmo solamente cercare di minimizzare la perdita. Per evitare che questo succeda abbiamo inserito nell'algoritmo la possibilità di uscire temporaneamente dal mercato azionario quando si verificano queste ipotesi. Al successivo periodo di revisione si valuterà se rimanere ancora fuori (nel caso si prevedano ancora rendimenti negativi) o rientrare con un nuovo portafoglio.

3.3 - Decomposizione dei singoli titoli

Come detto precedentemente, il primo passo di questa metodologia consiste nello scomporre singolarmente ognuno dei titoli in approssimazione e dettaglio (noise). Per ogni titolo, il primo grafico rappresenta la serie storica dei prezzi ufficiali dal 1/1/1992 al 13/5/1999 confrontata con l'approssimazione di livello 5 generata dalla decomposizione. Il secondo grafico evidenzia invece gli errori relativi permettendo di individuarne l'eteroschedasticità.





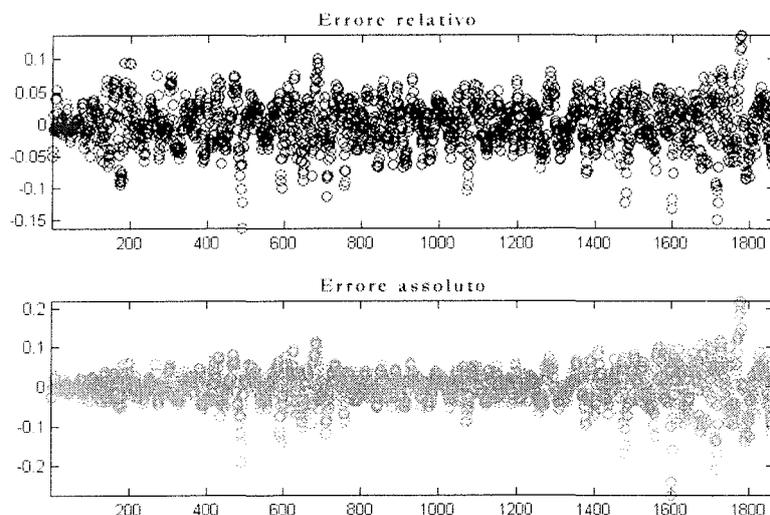
Test di normalità

Una delle approssimazioni del modello descritte nel paragrafo precedente è l'ipotesi di normalità delle componenti stocastiche. Per verificare questa ipotesi dobbiamo effettuare il test di Kolmogorof per verificare la normalità degli errori ottenuti dalla Wavelet Decomposition sia in termini assoluti che in termini relativi. Dalla tabella 1 risalta la netta differenza dei valori del test di Kolmogorof sull'errore assoluto e sull'errore relativo (che si ipotizza segua una distribuzione normale omoschedastica). Nella tabella sono riportati i risultati del test sugli errori relativi ottenuti da una decomposizione a livello 5 con la Coif3 (lo stesso tipo di analisi effettuata nei grafici delle pagine precedenti. Un risultato inferiore allo 0.031 (soglia al 95% di significatività) caratterizza una distribuzione normale. Evidenziati abbiamo i valori che superano nettamente la soglia.

Test di Kolmogorof		
Titoli utilizzati	Errore relativo	Errore assoluto
ALITALIA	0,0879	0,1861
ALLEANZA	0,0317	0,0643
BANCA DI ROMA	0,0345	0,0517
BANCA FIDEURAM	0,0367	0,1834
BANCA INTESA	0,0514	0,1868
BANCA LOMBARDA	0,0745	0,1498
BANCA POP DI BRESCIA	0,0792	0,2341
BENETTON	0,0189	0,0560
COMIT	0,0267	0,1020
FIAT	0,0211	0,0383
FINMECCANICA	0,0420	0,0633
GENERALI	0,0262	0,0653
ITALGAS	0,0159	0,0494
MEDIOBANCA	0,0268	0,0911
MONTEDISON	0,0173	0,0356
OLIVETTI	0,0336	0,0774
PIRELLI SPA	0,0260	0,0946
RAS	0,0229	0,0417
TELECOM ITALIA	0,0116	0,1069
UNICREDITO ITALIANO	0,0217	0,1399
Mibtel	0,0172	0,0635

Tabella 1: test di Kolmogorof su errore assoluto ed errore relativo.

Inoltre verificiamo l'ipotesi anche in modo visivo con i norm-plot e gli scatter-plot degli errori relativi di ogni titolo (con gli stessi dati usati nel test di Kolmogorof). Più la distribuzione degli errori è normale e più sarà concentrata vicino alla linea (come ad esempio per il titolo Benetton). Una dispersione degli errori molto all'esterno della linea rappresentante la normalità indica che per quel determinato titolo non possiamo supporre una distribuzione normale degli errori (uno dei quali è Banca Popolare di Brescia).



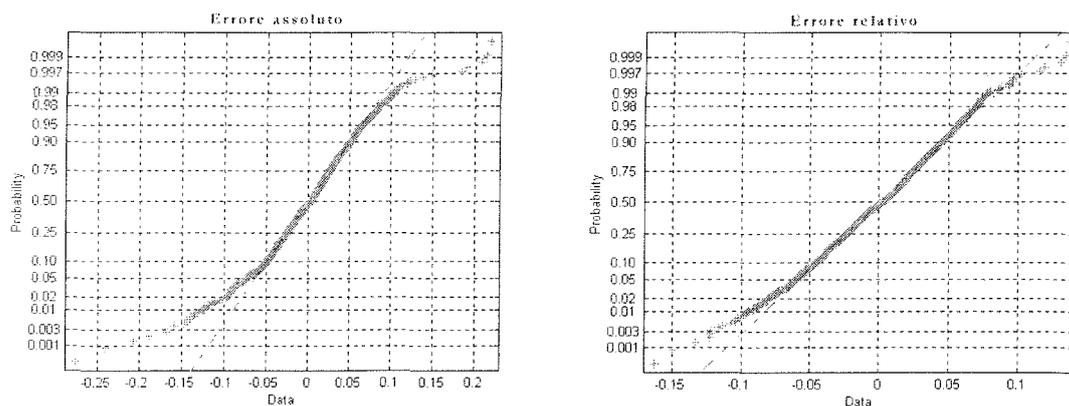


Figura 30: scatter-plot e norm-plot degli errori relativi ed assoluti del titolo Benetton.

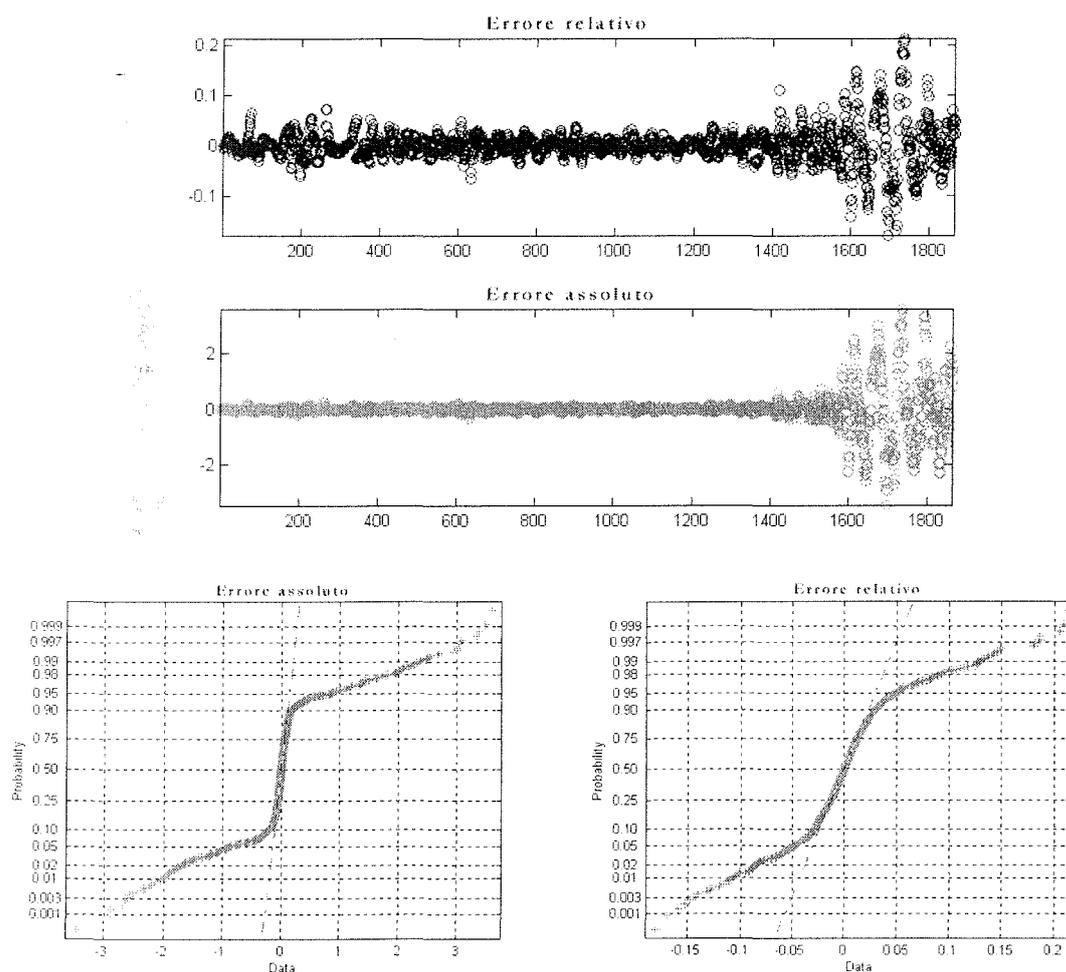


Figura 31: scatter-plot e norm-plot degli errori relativi ed assoluti del titolo Banca Popolare di Brescia.

3.4 - Trattare le distorsioni sul bordo

Uno dei punti focali per ottenere buone previsioni dal modello descritto, è la corretta approssimazione, da parte della Wavelet, dell'ultima parte della serie storica, in modo da poterne intuire l'andamento futuro. Vediamo in dettaglio le tecniche utilizzabili per tentare di mitigare questo tipo di distorsioni. Normalmente la DWT (Discrete Wavelet Transform) è definita per serie che hanno una lunghezza pari ad una potenza di due e sono necessarie varie

tecniche per estendere il campione. Questi metodi includono zero-padding, estensione periodica e replicazione dei valori vicini al bordo (simmetrizzazione). L'algoritmo base per la DWT non è limitato ad una lunghezza diadica ed è basato su un semplice schema: convoluzione e downsampling. Solitamente quando viene effettuata una convoluzione su un segnale di lunghezza finita, emergono problemi di distorsione sul bordo. Esaminiamo in dettaglio le modalità di estensione del segnale. Per limitare le distorsioni sul bordo, il bordo del segnale deve essere trattato in modo differente. Varie tecniche sono disponibili per trattare lo sviluppo in Wavelet su di un intervallo finito. Queste interessanti costruzioni sono valide in teoria ma non pienamente soddisfacenti dal punto di vista pratico. Spesso si preferisce usare schemi semplici basati sull'estensione del segnale oltre il bordo.

Questo implica l'elaborazione di alcuni coefficienti aggiuntivi ad ogni stadio della decomposizione in modo da garantire una perfetta ricostruzione del segnale. I dettagli di tali tecniche possono essere approfonditi in [STR96]. I metodi di estensione del segnale a nostra disposizione sono:

Zero-padding: questa è l'impostazione predefinita e suppone che il segnale sia costituito da zeri all'esterno del supporto originario. Lo svantaggio di questo metodo è che vengono create artificialmente delle discontinuità sul bordo.

Symmetrization: Questo metodo assume che il segnale o l'immagine può essere recuperata all'esterno del supporto originario grazie alla replicazione dei valori di bordo.

In questo modo però vengono create artificialmente discontinuità nella derivata prima sul bordo. Questo metodo solitamente garantisce buoni risultati con le immagini.

Smooth-padding: assume che il segnale o l'immagine oltre il bordo può essere recuperata dall'estrapolazione delle derivate del primo ordine. Funziona bene su segnali dalle forme arrotondate.

Periodic-padding: Questo metodo assume che il segnale o l'immagine può essere recuperata all'esterno del supporto originario grazie alla estensione periodica del bordo.

Ognuna di queste tecniche produce risultati molto diversi in termini di approssimazione della parte finale del segnale. Escludendo la modalità zero-padding non idonea al caso trattato, le altre opzioni sono state testate sui titoli utilizzati. La Symmetrization ha mostrato una maggiore capacità di cogliere il reale andamento futuro dei titoli. Molto importanti sono anche un'accurata scelta della Wavelet e del livello di decomposizione.

3.5 - Confronto sul 1999

Il modello è stato applicato all'anno 1999 per poter confrontarne la performance con quella della simulazione classica e dei gestori di fondi azionari italiani. In tabella 2 sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate con 4 differenti tipi di decomposizione.

	M20	Coif5-liv4	Db5-liv5	Db5-liv4	Db7-liv4
1	28,43%	26,76%	60,28%	43,26%	40,17%
2	28,01%	30,51%	58,50%	58,65%	44,32%
3	25,71%	21,09%	42,83%	43,12%	37,54%
4	29,75%	26,84%	37,09%	42,45%	28,94%
5	29,27%	38,80%	39,04%	31,91%	44,81%
6	36,69%	36,88%	59,12%	53,73%	47,78%
7	43,47%	47,76%	56,41%	63,79%	62,87%
Media	31,62%	32,66%	50,47%	48,13%	43,78%

Tabella 2: risultati delle simulazioni sull'anno 1999.

I risultati migliori sono quelli della Db5 livello 4 (48,13%) e della Db5 livello 4 (50,47%). I rendimenti di queste due simulazioni si posizionano poco al di sotto di quello ottenuto con la simulazione classica (54,42%) e largamente al di sopra della media dei fondi Azionari Italiani

(28,38%). Nella figura 32 possiamo vedere la distribuzione dei rendimenti dei Fondi Azionari italiani.

DISTRIBUZIONE DELLE PERFORMANCE DEI FONDI AZIONARI ITALIANI PER IL 1999

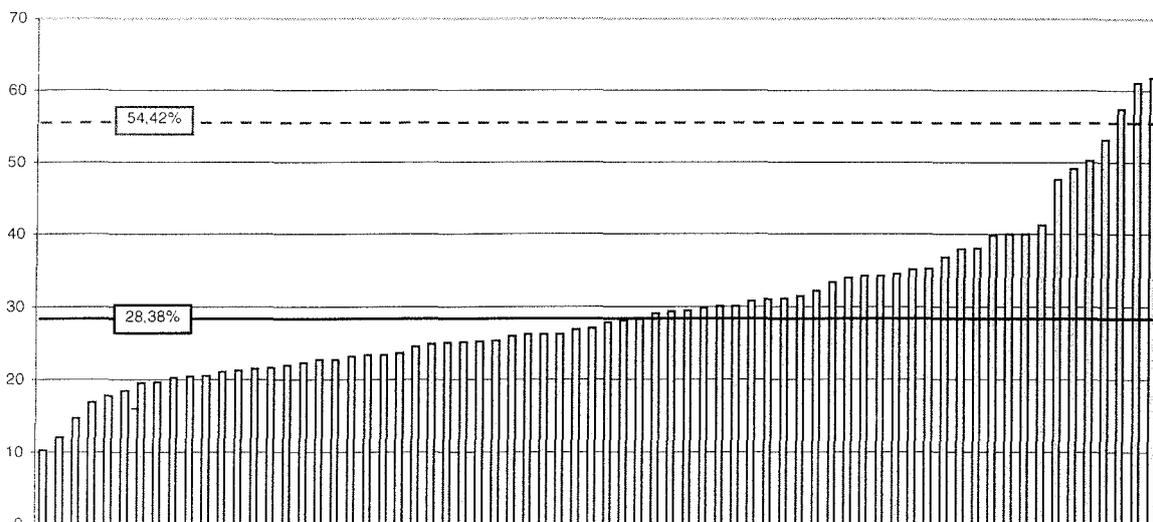


Figura 32 : il grafico mostra la distribuzione della performance dei fondi azionari italiani. La linea nera (28,38%) ne indica la media e quella tratteggiata indica la media delle nostre simulazioni come spiegato in dettaglio nelle pagine a seguire.

Confronto delle performance

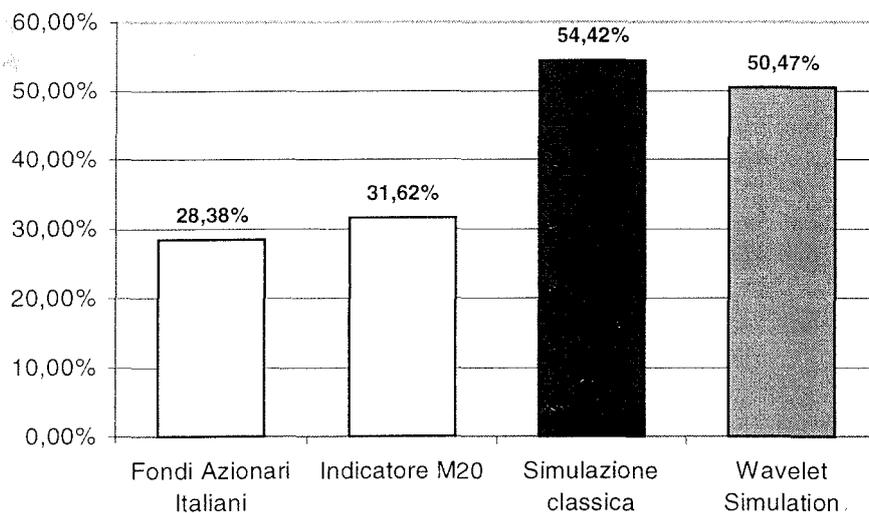


Figura 33: Confronto visivo delle performance delle due simulazioni con l'indicatore M20 e i gestori di fondi azionari italiani.

Ad una prima occhiata i risultati delle simulazioni con le Wavelet potrebbero sembrare poco interessanti in quanto ottengono un rendimento inferiore a quello della simulazione classica. Se scendiamo ad analizzare in dettaglio l'andamento del valore del portafoglio durante il 1999 scopriamo che i risultati sono notevoli e promettenti. La tabella 3 mostra l'andamento sui 12 mesi della simulazione classica e della Wavelet Simulation. Durante tutto il periodo il valore del

portafoglio Wavelet è sempre superiore a quello classico. Il sorpasso avviene solamente nel mese di dicembre.

Valore del portafoglio		
Periodo	Classica	Wavelet
0	100	100
1	100	101
2	101	111
3	105	116
4	114	113
5	109	123
6	114	125
7	101	109
8	103	116
9	103	116
10	103	111
11	113	119
12	163	159

Tabella 3: andamento del valore dei portafogli sui dodici mesi.

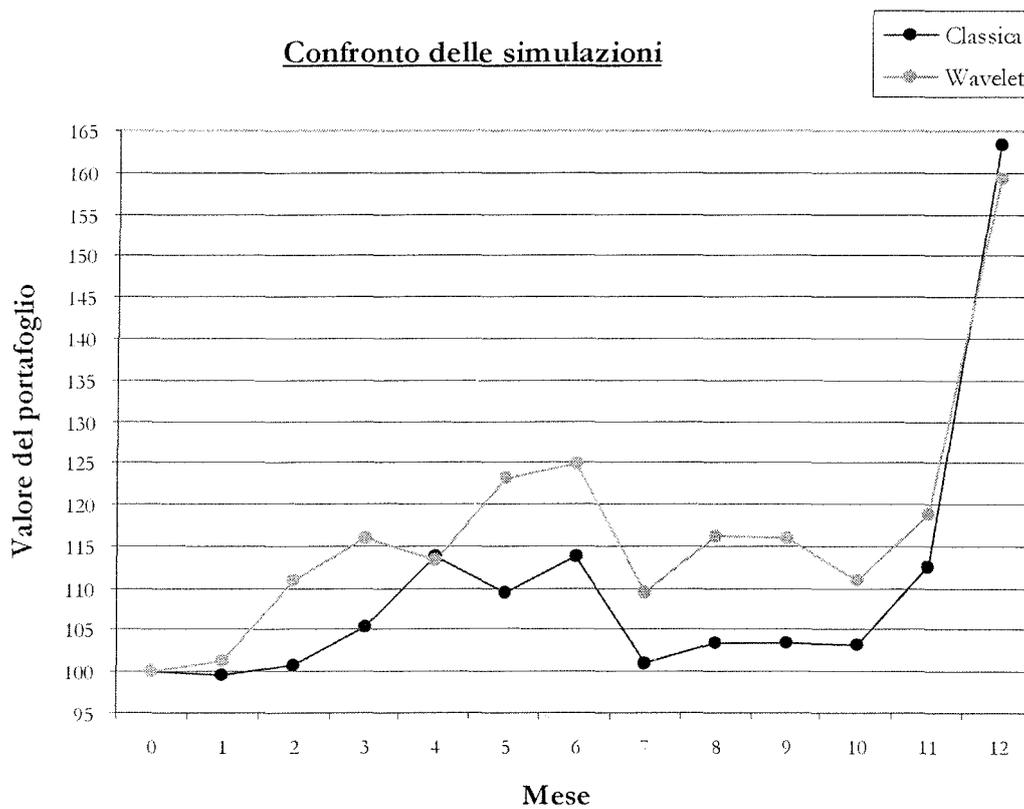


Figura 34: confronto tra l'andamento della simulazione classica (sotto) e di quella Wavelet (sopra).

Il sorpasso è dovuto ad una scelta più conservativa della Wavelet Simulation che ha attuato una maggiore diversificazione rispetto alla simulazione classica (che nell'ultimo mese ha investito quasi il 50% del capitale nella Banca Popolare di Brescia). Questo dimostra che in condizioni normali del mercato azionario la Wavelet Simulation è in grado di cogliere maggiormente le opportunità di guadagno, con investimenti più oculati come si può intuire dai pesi utilizzati nella composizione dei due portafogli.

Titoli Utilizzati	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ALITALIA	5,00%	2,46%	5,92%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3,86%	10,85%	10,85%
ALLEANZA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BANCA DI ROMA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BANCA FIDEURAM	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BANCA INTESA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BANCA LOMBARDA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BANCA POP DI BRESCIA	21,43%	30,13%	44,08%	31,05%	31,05%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	47,67%	47,67%
BENETTON	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	42%	28,35%	36,78%	36,78%
COMIT	5,06%	0%	0%	18,95%	18,95%	0%	0%	0%	7,65%	9,65%	3,37%	3,37%
FIAT	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
FINMECCANICA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1,33%	1,33%
GENERALI	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ITALGAS	18,52%	17,41%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MEDIOBANCA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MONTEDISON	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
OLIVETTI	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	0%	0%	0%	0%	0%
PIRELLI SPA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
RAS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TELECOM ITALIA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	24,80%	0%	8,14%	0%	0%
UNICREDITO ITALIANO	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Titoli Utilizzati	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ALITALIA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	28,35%	0%	0%	0%	0%
ALLEANZA	0%	0%	44,96%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BANCA DI ROMA	50,00%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BANCA FIDEURAM	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	29,03%
BANCA INTESA	0%	0%	0%	29,56%	0%	0%	0%	0%	12,60%	0%	0%	0%
BANCA LOMBARDA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BANCA POP DI BRESCIA	0%	50,00%	0%	0%	1,60%	0%	33,46%	0%	21,06%	33,98%	50,00%	20,05%
BENETTON	0%	0%	0%	0%	0%	21,21%	0%	0%	0%	27,28%	1%	0%
COMIT	50,00%	50,00%	50,00%	3,93%	0%	0%	0%	0%	15,94%	6%	0%	6,30%
FIAT	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	38,03%	26,46%
FINMECCANICA	0%	0%	0%	0%	50,00%	31,95%	0%	0%	6%	8%	0%	0%
GENERALI	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ITALGAS	0%	0%	0%	16,75%	40,84%	46,84%	0%	21,66%	44,05%	0%	0%	0%
MEDIOBANCA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MONTEDISON	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
OLIVETTI	0%	0%	5,01%	50,00%	7,60%	0%	27,48%	50,00%	0%	24,00%	0%	0%
PIRELLI SPA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11,30%	0%
RAS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TELECOM ITALIA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16,03%	0%	0%	0%	0%	18,36%
UNICREDITO ITALIANO	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22,97%	0%	0%	0%	0%	0%

4 - Conclusioni

In questo lavoro abbiamo preso in esame una metodologia innovativa per implementare un sistema automatico per guidare l'ottimizzazione di un portafoglio azionario. L'algoritmo investe e disinveste automaticamente con cadenza mensile nell'arco di un anno, tenendo conto delle spese e dei rendimenti previsti.

Nella Wavelet Simulation utilizziamo la matrice di covarianza ricavata dai dati storici e le distribuzioni dei rendimenti previsti per la costruzione della frontiera efficiente. Tale metodologia, pur utilizzando un semplice modello AR e basandosi su forti approssimazioni, ha ottenuto nelle simulazioni sul 1999 una performance del 50%, di poco inferiore a quella della simulazione classica, contro il 28,38% della media dei fondi azionari italiani che avevano a disposizione l'intero listino di Borsa. Con tale performance l'algoritmo si posiziona nella fascia alta dei gestori del risparmio. Inoltre questo risultato non rende pienamente le capacità predittive della Wavelet Simulation in quanto per i primi undici mesi dell'anno ha mantenuto livelli di rendimento notevolmente superiori a quelli della simulazione classica facendosi superare nel finale come conseguenza di una maggiore diversificazione del portafoglio.

Si è volutamente adottato un modello molto semplificato per mettere in evidenza la validità del filtraggio basato sulle Wavelet. Operando sugli effetti di bordo e sulla corretta approssimazione del segnale tramite Wavelet (molto importanti sono la scelta della Wavelet e del livello di decomposizione), non potremo che migliorarne la performance già notevole. Un possibile sviluppo consiste nell'utilizzo di modelli neuro-genetici già nell'approssimazione del bordo del segnale.

Inoltre l'evoluzione naturale del sistema predittivo consisterà nell'utilizzo di modelli neuro-genetici in sostituzione del semplice modello AR e il passaggio ad una metodologia multivariata al posto di quella univariata proposta nelle simulazioni.

Bibliografia

- [ANT95] A.Antoniadis, G Oppenheim, "WAVELET AND STATISTICS", lecture Notes in Statistics 103, Springer Verlag, 1995.
- [BAR99] G.Barone-Adesi, K.Giannopoulos, "VAR WITHOUT CORRELATIONS FOR PORTFOLIOS OF DERIVATES", Journal of Future Markets, April 1999.
- [BES89] P.Best, "IMPLEMENTING VALUE AT RISK", Wiley & Sons, New York, 1999.
- [CAN91] E.Canestrelli, "CRITERI PER LA SELEZIONE DEL PORTAFOGLIO", G.Giapichelli Editore, Torino, 1991.
- [CDF92] A.Choen, I.Daubechies, J.C.Feauveau, "BIORTHOGONAL BASIS OF COMPACTLY SUPPORTED WAVELETS", Comm. Pure Appli. Math., vol. 45, pp 485-560, 1992.
- [CDJ93] A.Choen, I.Daubechies, B.Jawerth, P.Vial, "MULTIRESOLUTION ANALYSIS, WAVELETS AND FAST WAVELET TRANSFORM ON AN INTERVAL", CRAS Paris, Ser. A, t. 316, p. 417-421, 1993.
- [CHU92a] C.K.Chui, "WAVELETS: A TUTORIAL IN THEORY AND APPLICATIONS", Academic Press, 1992a.
- [CHU92b] C.K.Chui, "AN INTRODUCTION TO WAVELETS", Academic Press, 1992b.
- [CMW92] R.R.Coifman, Y. Mayer, M.V.Wickerhauser, "WAVELET ANALYSIS AND SIGNAL PROCESSING", in Wavelets and their applications, M.B. Ruskai et al Eds., pp. 153-178, Jones and Bartlett, 1992.
- [COH92] A.Cohen, "ONDELETTES, ANALYSES MULTIRESOLUTION ET TRAITEMENT NUMERIQUE DU SIGNAL", Ph. D. Thesis, University of paris IX, Dauphine 1992.
- [COW92] R.R.Coifman, M.V.Wickerhauser, "ENTROPY-BASED ALGORITHMS FOR BEST BASIS SELECTION", IEEE Trans. on Inf. Theory, vol. 38, 2, pp. 713-718, 1992.
- [DAU92] I.Daubechies, "TEN LECTURES ON WAVELETS", SIAM, 1992.

- [DEV92] R.A.DeVore, B.Jawerth, B.J.Lucier, "IMAGE COMPRESSION THROUGH WAVELET TRANSFORM CODING", IEEE Trans. on Inf. Theory, vol 38, 2, pp. 719-746, 1992.
- [DOW98] K.Dowd, "BEYOND VALUE AT RISK. THE NEW SCIENCE OF RISK MANAGEMENT", John Wiley & Sons, 1998.
- [JOR97] P.Jorion, "VALUE AT RISK: THE NEW BENCHMARK FOR CONTROLLING MARKET RISK", Irwin professional. Chicago, 1997.
- [KAH95] J.P.Kahane, P.G.Lamarié. "FOURIER SERIES AND WAVELETS". Gordon and Research Publishers, Studies in Development of Modern Mathematics, vol. 3, 1995.
- [KAI94] G.Kaiser, "A FRIENDLY GUIDE TO WAVELETS", Birkhauser, 1994.
- [LEM90] P.G.Lemarié, "LES ONDELETTES EN 1989", Lecture Notes in Mathematics, Springer Verlag, 1990.
- [MAL89] S.Mallat, "A THEORY FOR MULTIREOLUTION SIGNAL DECOMPOSITION: THE WAVELET REPRESENTATION", IEEE Pattern Anal. and Machine Intell., vol 11, no. 7, pp. 674-693, 1989.
- [MER93] Y.Meyer, Y.S. Roques, "PROGRESS IN WAVELET ANALYSIS AND APPLICATIONS", Frontières Ed., 1993.
- [MEY90] Y.Meyer, "ONDELETTES ET OPÉRATEURS", Tome 1, Hermann Ed. 1990. (English traslation: "Wavelets and operators, Cambrige Univ. Press. 1993.).
- [MEY93] Y.Meyer, "LES ONDELETTES. ALGORITHMES ET APPLICATIONS", Colin Ed., Paris, 2nd edition 1993. (English traslation: "Wavelets: algorithms and applications", SIAM).
- [MIS93a] M.Misiti, Y.Misiti, G.Oppenheim, J.M.Poggi, "ANALYSE DE SIGNAUX CLASSIQUES PAR DECOMPOSITION EN ONDELETTES", Revue de Statistique Aplliquée, vol XLI, no.4, pp. 5-32, 1993a.
- [MIS93b] M.Misiti, Y.Misiti, G.Oppenheim, J.M.Poggi, "ONDELETTES EN STATISTIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL", Revue de Statistique Appliquée, vol. XLI, no. 4, pp. 33-43, 1993b.
- [MIS96] M.Misiti, Y.Misiti, G.Oppenheim, J.M.Poggi, "WAVELET TOOLBOX FOR USE WITH MATLAB", The Math Work, Inc, 1996.
- [MOR96] J.P.Morgan, "RISK METRICS TECHNICAL DOCUMENT", New York, 1996.
- [PED99] C.Pederzoli, C.Torricelli. "UNA RASSEGNA SUI METODI DI STIMA DEL VALUE AT RISK (VAR)", Università degli studi di Modena, Dipartimento di Economia Politica, Materiale di discussione n° 263, Marzo 1999.
- [STR96] G.Strang, T.Nguyen, "WAVELET AND FILTERS BANKS", Wellesley-Cambrige Press, 1996.
- [SUL75] U.M.Sulpasso, "LA SELEZIONE DEL PORTAFOGLIO", Etas libri, Milano, 1977.
- [WIC94] M.V.Wickerhauser, "ADAPTED WAVELET ANALYSIS FROM THEORY TO SOFTWARE ALGORITHMS", A.K.Peters.

Siti Internet Consultati

- Borsa Italiana: <http://www.borsaitalia.it>
- Il Sole 24ore online: <http://www.ilsole24ore.it>
- Milano Finanza: <http://www.milanofinanza.it>
- J.P. Morgan: <http://www.jpmorgan.com>
- RiskMetrics™ <http://www.riskmetrics.reuters.com>
- Wavelet Digest <http://www.wavelet.org/wavelet>
- Applied Wavelet Analysis <http://www.wavelet.com>

1. Maria Cristina Marcuzzo [1985] "Yoan Violet Robinson (1903-1983)", pp. 134
2. Sergio Lugaresi [1986] "Le imposte nelle teorie del sovrappiù", pp. 26
3. Massimo D'Angelillo e Leonardo Paggi [1986] "PCI e socialdemocrazie europee. Quale riformismo?", pp. 158
4. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1986] "Un suggerimento hobsoniano su terziario ed occupazione: il caso degli Stati Uniti 1960/1983", pp. 52
5. Paolo Bosi e Paolo Silvestri [1986] "La distribuzione per aree disciplinari dei fondi destinati ai Dipartimenti, Istituti e Centri dell'Università di Modena: una proposta di riforma", pp. 25
6. Marco Lippi [1986] "Aggregations and Dynamic in One-Equation Econometric Models", pp. 64
7. Paolo Silvestri [1986] "Le tasse scolastiche e universitarie nella Legge Finanziaria 1986", pp. 41
8. Mario Forni [1986] "Storie familiari e storie di proprietà. Itinerari sociali nell'agricoltura italiana del dopoguerra", pp. 165
9. Sergio Paba [1986] "Gruppi strategici e concentrazione nell'industria europea degli elettrodomestici bianchi", pp. 56
10. Nerio Naldi [1986] "L'efficienza marginale del capitale nel breve periodo", pp. 54
11. Fernando Vianello [1986] "Labour Theory of Value", pp. 31
12. Piero Ganugi [1986] "Risparmio forzato e politica monetaria negli economisti italiani tra le due guerre", pp. 40
13. Maria Cristina Marcuzzo e Annalisa Rosselli [1986] "The Theory of the Gold Standard and Ricardo's Standard Comodity", pp. 30
14. Giovanni Solinas [1986] "Mercati del lavoro locali e carriere di lavoro giovanili", pp. 66
15. Giovanni Bonifati [1986] "Saggio dell'interesse e domanda effettiva. Osservazioni sul cap. 17 della General Theory", pp. 42
16. Marina Murat [1986] "Betwin old and new classical macroeconomics: notes on Lejonhufvud's notion of full information equilibrium", pp. 20
17. Sebastiano Brusco e Giovanni Solinas [1986] "Mobilità occupazionale e disoccupazione in Emilia Romagna", pp. 48
18. Mario Forni [1986] "Aggregazione ed esogeneità", pp. 13
19. Sergio Lugaresi [1987] "Redistribuzione del reddito, consumi e occupazione", pp. 17
20. Fiorenzo Sperotto [1987] "L'immagine neopopulista di mercato debole nel primo dibattito sovietico sulla pianificazione", pp. 34
21. M. Cecilia Guerra [1987] "Benefici tributari nel regime misto per i dividendi proposto dalla commissione Sarcinelli: una nota critica", pp. 9
22. Leonardo Paggi [1987] "Contemporary Europe and Modern America: Theories of Modernity in Comparative Perspective", pp. 38
23. Fernando Vianello [1987] "A Critique of Professor Goodwin's 'Critique of Sraffa'", pp. 12
24. Fernando Vianello [1987] "Effective Demand and the Rate of Profits. Some Thoughts on Marx, Kalecki and Sraffa", pp. 41
25. Anna Maria Sala [1987] "Banche e territorio. Approccio ad un tema geografico-economico", pp. 40
26. Enzo Mingione e Giovanni Mottura [1987] "Fattori di trasformazione e nuovi profili sociali nell'agricoltura italiana: qualche elemento di discussione", pp. 36
27. Giovanna Procacci [1988] "The State and Social Control in Italy During the First World War", pp. 18
28. Massimo Matteuzzi e Annamaria Simonazzi [1988] "Il debito pubblico", pp. 62
29. Maria Cristina Marcuzzo (a cura di) [1988] "Richard F. Kahn. A discipline of Keynes", pp. 118
30. Paolo Bosi [1988] "MICROMOD. Un modello dell'economia italiana per la didattica della politica fiscale", pp. 34
31. Paolo Bosi [1988] "Indicatori della politica fiscale. Una rassegna e un confronto con l'aiuto di MICROMOD", pp. 25
32. Giovanna Procacci [1988] "Protesta popolare e agitazioni operaie in Italia 1915-1918", pp. 45
33. Margherita Russo [1988] "Distretto Industriale e servizi. Uno studio dei trasporti nella produzione e nella vendita delle piastrelle", pp. 157
34. Margherita Russo [1988] "The effect of technical change on skill requirements: an empirical analysis", pp. 28
35. Carlo Grillenzoni [1988] "Identification, estimations of multivariate transfer functions", pp. 33
36. Nerio Naldi [1988] "'Keynes' concept of capital", pp. 40
37. Andrea Ginzburg [1988] "locomotiva Italia?", pp. 30
38. Giovanni Mottura [1988] "La 'persistenza' secolare. Appunti su agricoltura contadina ed agricoltura familiare nelle società industriali", pp. 40
39. Giovanni Mottura [1988] "L'anticamera dell'esodo. I contadini italiani della 'restaurazione contrattuale' fascista alla riforma fondiaria", pp. 40
40. Leonardo Paggi [1988] "Americanismo e riformismo. La socialdemocrazia europea nell'economia mondiale aperta", pp. 120
41. Annamaria Simonazzi [1988] "Fenomeni di isteresi nella spiegazione degli alti tassi di interesse reale", pp. 44
42. Antonietta Bassetti [1989] "Analisi dell'andamento e della casualità della borsa valori", pp. 12
43. Giovanna Procacci [1989] "State coercion and worker solidarity in Italy (1915-1918): the moral and political content of social unrest", pp. 41
44. Carlo Alberto Magni [1989] "Reputazione e credibilità di una minaccia in un gioco bargaining", pp. 56
45. Giovanni Mottura [1989] "Agricoltura familiare e sistema agroalimentare in Italia", pp. 84
46. Mario Forni [1989] "Trend, Cycle and 'Fortuitous cancellation': a Note on a Paper by Nelson and Plosser", pp. 4
47. Paolo Bosi, Roberto Golinelli, Anna Stagni [1989] "Le origini del debito pubblico e il costo della stabilizzazione", pp. 26
48. Roberto Golinelli [1989] "Note sulla struttura e sull'impiego dei modelli macroeconomici", pp. 21
49. Marco Lippi [1989] "A Shorte Note on Cointegration and Aggregation", pp. 11
50. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1989] "The Linkage between Tertiary and Industrial Sector in the Italian Economy: 1951-1988. From an External Dependence to an International One", pp. 40
51. Gabriele Pastrello [1989] "Francois quesnay: dal Tableau Zig-zag al Tableau Formule: una ricostruzione", pp. 48
52. Paolo Silvestri [1989] "Il bilancio dello stato", pp. 34
53. Tim Mason [1990] "Tre seminari di storia sociale contemporanea", pp. 26
54. Michele Lalla [1990] "The Aggregate Escape Rate Analysed throught the Queueing Model", pp. 23
55. Paolo Silvestri [1990] "Sull'autonomia finanziaria dell'università", pp. 11
56. Paola Bertolini, Enrico Giovannetti [1990] "Uno studio di 'filiera' nell'agroindustria. Il caso del Parmigiano Reggiano", pp. 164

57. Paolo Bosi, Roberto Golinelli, Anna Stagni [1990] "Effetti macroeconomici, settoriali e distributivi dell'armonizzazione dell'IVA", pp. 24
58. Michele Lalla [1990] "Modelling Employment Spells from Emilia Labour Force Data", pp. 18
59. Andrea Ginzburg [1990] "Politica Nazionale e commercio internazionale", pp. 22
60. Andrea Giommi [1990] "La probabilità individuale di risposta nel trattamento dei dati mancanti", pp. 13
61. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1990] "The service sector in planned economies. Past experiences and future perspectives", pp. 32
62. Giovanni Solinas [1990] "Competenze, grandi industrie e distretti industriali. Il caso Magneti Marelli", pp. 23
63. Andrea Ginzburg [1990] "Debito pubblico, teorie monetarie e tradizione civica nell'Inghilterra del Settecento", pp. 30
64. Mario Forni [1990] "Incertezza, informazione e mercati assicurativi: una rassegna", pp. 37
65. Mario Forni [1990] "Misspecification in Dynamic Models", pp. 19
66. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1990] "Service Sector Growth in CPE's: An Unsolved Dilemma", pp. 28
67. Paola Bertolini [1990] "La situazione agro-alimentare nei paesi ad economia avanzata", pp. 20
68. Paola Bertolini [1990] "Sistema agro-alimentare in Emilia Romagna ed occupazione", pp. 65
69. Enrico Giovannetti [1990] "Efficienza ed innovazione: il modello "fondi e flussi" applicato ad una filiera agro-industriale", pp. 38
70. Margherita Russo [1990] "Cambiamento tecnico e distretto industriale: una verifica empirica", pp. 115
71. Margherita Russo [1990] "Distretti industriali in teoria e in pratica: una raccolta di saggi", pp. 119
72. Paolo Silvestri [1990] "La Legge Finanziaria. Voce dell'enciclopedia Europea Garzanti", pp. 8
73. Rita Paltrinieri [1990] "La popolazione italiana: problemi di oggi e di domani", pp. 57
74. Enrico Giovannetti [1990] "Illusioni ottiche negli andamenti delle Grandezze distributive: la scala mobile e l'appiattimento delle retribuzioni in una ricerca", pp. 120
75. Enrico Giovannetti [1990] "Crisi e mercato del lavoro in un distretto industriale: il bacino delle ceramiche. Sez I", pp. 150
76. Enrico Giovannetti [1990] "Crisi e mercato del lavoro in un distretto industriale: il bacino delle ceramiche. Sez. II", pp. 145
77. Antonietta Bassetti e Costanza Torricelli [1990] "Una riqualificazione dell'approccio bargaining alla selezioni di portafoglio", pp. 4
78. Antonietta Bassetti e Costanza Torricelli [1990] "Il portafoglio ottimo come soluzione di un gioco bargaining", pp. 15
79. Mario Forni [1990] "Una nota sull'errore di aggregazione", pp. 6
80. Francesca Bergamini [1991] "Alcune considerazioni sulle soluzioni di un gioco bargaining", pp. 21
81. Michele Grillo e Michele Polo [1991] "Political Exchange and the allocation of surplus: a Model of Two-party competition", pp. 34
82. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1991] "The 1990 Polish Recession: a Case of Truncated Multiplier Process", pp. 26
83. Gian Paolo Caselli e Gabriele Pastrello [1991] "Polish firms: Pricate Vices Pubblis Virtues", pp. 20
84. Sebastiano Brusco e Sergio Paba [1991] "Connessioni, competenze e capacità concorrenziale nell'industria della Sardegna", pp. 25
85. Claudio Grimaldi, Rony Hamoui, Nicola Rossi [1991] "Non Marketable assets and households' Portfolio Choice: a Case of Study of Italy", pp. 38
86. Giulio Righi, Massimo Baldini, Alessandra Brambilla [1991] "Le misure degli effetti redistributivi delle imposte indirette: confronto tra modelli alternativi", pp. 47
87. Roberto Fanfani, Luca Lanini [1991] "Innovazione e servizi nello sviluppo della meccanizzazione agricola in Italia", pp. 35
88. Antonella Caiumi e Roberto Golinelli [1992] "Stima e applicazioni di un sistema di domanda Almost Ideal per l'economia italiana", pp. 34
89. Maria Cristina Marcuzzo [1992] "La relazione salari-occupazione tra rigidità reali e rigidità nominali", pp. 30
90. Mario Biagioli [1992] "Employee financial participation in enterprise results in Italy", pp. 50
91. Mario Biagioli [1992] "Wage structure, relative prices and international competitiveness", pp. 50
92. Paolo Silvestri e Giovanni Solinas [1993] "Abbandoni, esiti e carriera scolastica. Uno studio sugli studenti iscritti alla Facoltà di Economia e Commercio dell'Università di Modena nell'anno accademico 1990/1991", pp. 30
93. Gian Paolo Caselli e Luca Martinelli [1993] "Italian GPN growth 1890-1992: a unit root or segmented trend representatin?", pp. 30
94. Angela Politi [1993] "La rivoluzione fraintesa. I partigiani emiliani tra liberazione e guerra fredda, 1945-1955", pp. 55
95. Alberto Rinaldi [1993] "Lo sviluppo dell'industria metalmeccanica in provincia di Modena: 1945-1990", pp. 70
96. Paolo Emilio Mistrulli [1993] "Debito pubblico, intermediari finanziari e tassi d'interesse: il caso italiano", pp. 30
97. Barbara Pistoresi [1993] "Modelling disaggregate and aggregate labour demand equations. Cointegration analysis of a labour demand function for the Main Sectors of the Italian Economy: 1950-1990", pp. 45
98. Giovanni Bonifati [1993] "Progresso tecnico e accumulazione di conoscenza nella teoria neoclassica della crescita endogena. Una analisi critica del modello di Romer", pp. 50
99. Marcello D'Amato e Barbara Pistoresi [1994] "The relationship(s) among Wages, Prices, Unemployment and Productivity in Italy", pp. 30
100. Mario Forni [1994] "Consumption Volatility and Income Persistence in the Permanent Income Model", pp. 30
101. Barbara Pistoresi [1994] "Using a VECM to characterise the relative importance of permanent and transitory components", pp. 28
102. Gian Paolo Caselli and Gabriele Pastrello [1994] "Polish recovery form the slump to an old dilemma", pp. 20
103. Sergio Paba [1994] "Imprese visibili, accesso al mercato e organizzazione della produzione", pp. 20
104. Giovanni Bonifati [1994] "Progresso tecnico, investimenti e capacità produttiva", pp. 30
105. Giuseppe Marotta [1994] "Credit view and trade credit: evidence from Italy", pp. 20
106. Margherita Russo [1994] "Unit of investigation for local economic development policies", pp. 25
107. Luigi Brighi [1995] "Monotonicity and the demand theory of the weak axioms", pp. 20
108. Mario Forni e Lucrezia Reichlin [1995] "Modelling the impact of technological change across sectors and over time in manufacturing", pp. 25
109. Marcello D'Amato and Barbara Pistoresi [1995] "Modelling wage growth dynamics in Italy: 1960-1990", pp. 38
110. Massimo Baldini [1995] "INDIMOD. Un modello di microsimulazione per lo studio delle imposte indirette", pp. 37

111. Paolo Bosi [1995] "Regionalismo fiscale e autonomia tributaria: l'emersione di un modello di consenso", pp. 38
112. Massimo Baldini [1995] "Aggregation Factors and Aggregation Bias in Consumer Demand", pp. 33
113. Costanza Torricelli [1995] "The information in the term structure of interest rates. Can stochastic models help in resolving the puzzle?" pp. 25
114. Margherita Russo [1995] "Industrial complex, pôle de développement, distretto industriale. Alcune questioni sulle unità di indagine nell'analisi dello sviluppo." pp. 45
115. Angelika Moryson [1995] "50 Jahre Deutschland. 1945 - 1995" pp. 21
116. Paolo Bosi [1995] "Un punto di vista macroeconomico sulle caratteristiche di lungo periodo del nuovo sistema pensionistico italiano." pp. 32
117. Gian Paolo Caselli e Salvatore Curatolo [1995] "Esistono relazioni stimabili fra dimensione ed efficienza delle istituzioni e crescita produttiva? Un esercizio nello spirito di D.C. North." pp. 11
118. Mario Forni e Marco Lippi [1995] "Permanent income, heterogeneity and the error correction mechanism." pp. 21
119. Barbara Pistoresi [1995] "Co-movements and convergence in international output. A Dynamic Principal Components Analysis" pp. 14
120. Mario Forni e Lucrezia Reichlin [1995] "Dynamic common factors in large cross-section" pp. 17
121. Giuseppe Marotta [1995] "Il credito commerciale in Italia: una nota su alcuni aspetti strutturali e sulle implicazioni di politica monetaria" pp. 20
122. Giovanni Bonifati [1995] "Progresso tecnico, concorrenza e decisioni di investimento: una analisi delle determinanti di lungo periodo degli investimenti" pp. 25
123. Giovanni Bonifati [1995] "Cambiamento tecnico e crescita endogena: una valutazione critica delle ipotesi del modello di Romer" pp. 21
124. Barbara Pistoresi e Marcello D'Amato [1995] "La riservatezza del banchiere centrale è un bene o un male? Effetti dell'informazione incompleta sul benessere in un modello di politica monetaria." pp. 32
125. Barbara Pistoresi [1995] "Radici unitarie e persistenza: l'analisi univariata delle fluttuazioni economiche." pp. 33
126. Barbara Pistoresi e Marcello D'Amato [1995] "Co-movements in European real outputs" pp. 20
127. Antonio Ribba [1996] "Ciclo economico, modello lineare-stocastico, forma dello spettro delle variabili macroeconomiche" pp. 31
128. Carlo Alberto Magni [1996] "Repeatable and una tantum real options a dynamic programming approach" pp. 23
129. Carlo Alberto Magni [1996] "Opzioni reali d'investimento e interazione competitiva: programmazione dinamica stocastica in optimal stopping" pp. 26
130. Carlo Alberto Magni [1996] "Vaghezza e logica fuzzy nella valutazione di un'opzione reale" pp. 20
131. Giuseppe Marotta [1996] "Does trade credit redistribution thwart monetary policy? Evidence from Italy" pp. 20
132. Mauro Dell'Amico e Marco Trubian [1996] "Almost-optimal solution of large weighted equicut problems" pp. 30
133. Carlo Alberto Magni [1996] "Un esempio di investimento industriale con interazione competitiva e avversione al rischio" pp. 20
134. Margherita Russo, Peter Börkey, Emilio Cubel, François Lévêque, Francisco Mas [1996] "Local sustainability and competitiveness: the case of the ceramic tile industry" pp. 66
135. Margherita Russo [1996] "Camionetto tecnico e relazioni tra imprese" pp. 190
136. David Avra Lane, Irene Poli, Michele Lalla, Alberto Roverato [1996] "Lezioni di probabilità e inferenza statistica" pp. 288
137. David Avra Lane, Irene Poli, Michele Lalla, Alberto Roverato [1996] "Lezioni di probabilità e inferenza statistica - Esercizi svolti -" pp. 302
138. Barbara Pistoresi [1996] "Is an Aggregate Error Correction Model Representative of Disaggregate Behaviours? An example" pp. 24
139. Luisa Malaguti e Costanza Torricelli [1996] "Monetary policy and the term structure of interest rates", pp. 30
140. Mauro Dell'Amico, Martine Labbé, Francesco Maffioli [1996] "Exact solution of the SONET Ring Loading Problem", pp. 20
141. Mauro Dell'Amico, R.J.M. Vaessens [1996] "Flow and open shop scheduling on two machines with transportation times and machine-independent processing times in NP-hard, pp. 10
142. M. Dell'Amico, F. Maffioli, A. Sciomechen [1996] "A Lagrangean Heuristic for the Pirze Collecting Travelling Salesman Problem", pp. 14
143. Massimo Baldini [1996] "Inequality Decomposition by Income Source in Italy - 1987 - 1993", pp. 20
144. Graziella Bertocchi [1996] "Trade, Wages, and the Persistence of Underdevelopment" pp. 20
145. Graziella Bertocchi and Fabio Canova [1996] "Did Colonization matter for Growth? An Empirical Exploration into the Historical Causes of Africa's Underdevelopment" pp. 32
146. Paola Bertolini [1996] "La modernization de l'agriculture italienne et le cas de l'Emilie Romagne" pp. 20
147. Enrico Giovannetti [1996] "Organisation industrielle et développement local: le cas de l'agroindutrie in Emilie Romagne" pp. 18
148. Maria Elena Bontempi e Roberto Golinelli [1996] "Le determinanti del leverage delle imprese: una applicazione empirica ai settori industriali dell'economia italiana" pp. 31
149. Paola Bertolini [1996] "L'agriculture et la politique agricole italienne face aux recents scenarios", pp. 20
150. Enrico Giovannetti [1996] "Il grado di utilizzo della capacità produttiva come misura dei costi di transazione: una rilettura di 'Nature of the Firm' di R. Coase", pp. 75
151. Enrico Giovannetti [1996] "Il 1° ciclo del Diploma Universitario Economia e Amministrazione delle Imprese", pp. 25
152. Paola Bertolini, Enrico Giovannetti, Giulia Santacaterina [1996] "Il Settore del Verde Pubblico. Analisi della domanda e valutazione economica dei benefici", pp. 35
153. Giovanni Solinas [1996] "Sistemi produttivi del Centro-Nord e del Mezzogiorno. L'industria delle calzature", pp. 55
154. Tindara Addabbo [1996] "Married Women's Labour Supply in Italy in a Regional Perspective", pp. 85
155. Paolo Silvestri, Giuseppe Catalano, Cristina Bevilacqua [1996] "Le tasse universitarie e gli interventi per il diritto allo studio: la prima fase di applicazione di una nuova normativa" pp. 159
156. Sebastiano Brusco, Paolo Bertossi, Margherita Russo [1996] "L'industria dei rifiuti urbani in Italia", pp. 25
157. Paolo Silvestri, Giuseppe Catalano [1996] "Le risorse del sistema universitario italiano: finanziamento e governo" pp. 400
158. Carlo Alberto Magni [1996] "Un semplice modello di opzione di differimento e di vendita in ambito discreto", pp. 10
159. Tito Pietra, Paolo Siconolfi [1996] "Fully Revealing Equilibria in Sequential Economies with Asset Markets" pp. 17
160. Tito Pietra, Paolo Siconolfi [1996] "Extrinsic Uncertainty and the Informational Role of Prices" pp. 42
161. Paolo Bertella Farnetti [1996] "Il negro e il rosso. Un precedente non esplorato dell'integrazione afroamericana negli Stati Uniti" pp. 26
162. David Lane [1996] "Is what is good for each best for all? Learning from others in the information contagion model" pp. 18

163. Antonio Ribba [1996] "A note on the equivalence of long-run and short-run identifying restrictions in cointegrated systems" pp. 10
164. Antonio Ribba [1996] "Scomposizioni permanenti-transitorie in sistemi cointegrati con una applicazione a dati italiani" pp. 23
165. Mario Forni, Sergio Paba [1996] "Economic Growth, Social Cohesion and Crime" pp. 20
166. Mario Forni, Lucrezia Reichlin [1996] "Let's get real: a factor analytical approach to disaggregated business cycle dynamics" pp. 25
167. Marcello D'Amato e Barbara Pistoiesi [1996] "So many Italies: Statistical Evidence on Regional Cohesion" pp. 31
168. Elena Bonfiglioli, Paolo Bosi, Stefano Toso [1996] "L'equità del contributo straordinario per l'Europa" pp. 20
169. Graziella Bertocchi, Michael Spagat [1996] "Il ruolo dei licei e delle scuole tecnico-professionali tra progresso tecnologico, conflitto sociale e sviluppo economico" pp. 37
170. Gianna Boero, Costanza Torricelli [1997] "The Expectations Hypothesis of the Term Structure of Interest Rates: Evidence for Germany" pp. 15
171. Mario Forni, Lucrezia Reichlin [1997] "National Policies and Local Economies: Europe and the US" pp. 22
172. Carlo Alberto Magni [1997] "La trappola del Roe e la tridimensionalità del Van in un approccio sistemico", pp. 16
173. Mauro Dell'Amico [1997] "A Linear Time Algorithm for Scheduling Outforests with Communication Delays on Two or Three Processor" pp. 18
174. Paolo Bosi [1997] "Aumentare l'età pensionabile fa diminuire la spesa pensionistica? Ancora sulle caratteristiche di lungo periodo della riforma Dini" pp. 13
175. Paolo Bosi e Massimo Matteuzzi [1997] "Nuovi strumenti per l'assistenza sociale" pp. 31
176. Mauro Dell'Amico, Francesco Maffioli e Marco Trubian [1997] "New bounds for optimum traffic assignment in satellite communication" pp. 21
177. Carlo Alberto Magni [1997] "Paradossi, inverosimiglianze e contraddizioni del Van: operazioni certe" pp. 9
178. Barbara Pistoiesi e Marcello D'Amato [1997] "Persistence of relative unemployment rates across italian regions" pp. 25
179. Margherita Russo, Franco Cavedoni e Riccardo Pianesani [1997] "Le spese ambientali dei Comuni in provincia di Modena, 1993-1995" pp. 23
180. Gabriele Pastrello [1997] "Time and Equilibrium, Two Elusive Guests in the Keynes-Hawtrey-Robertson Debate in the Thirties" pp. 25
181. Luisa Malaguti e Costanza Torricelli [1997] "The Interaction Between Monetary Policy and the Expectation Hypothesis of the Term Structure of Interest rates in a N-Period Rational Expectation Model" pp. 27
182. Mauro Dell'Amico [1997] "On the Continuous Relaxation of Packing Problems – Technical Note" pp. 8
183. Stefano Bordini [1997] "Prova di Idoneità di Informatica Dispensa Esercizi Excel 5" pp. 49
184. Francesca Bergamini e Stefano Bordini [1997] "Una verifica empirica di un nuovo metodo di selezione ottima di portafoglio" pp. 22
185. Gian Paolo Caselli e Maurizio Battini [1997] "Following the tracks of atkinson and micklewright the changing distribution of income and earnings in poland from 1989 to 1995" pp. 21
186. Mauro Dell'Amico e Francesco Maffioli [1997] "Combining Linear and Non-Linear Objectives in Spanning Tree Problems" pp. 21
187. Gianni Ricci e Vanessa Debbia [1997] "Una soluzione evolutiva in un gioco differenziale di lotta di classe" pp. 14
188. Fabio Canova e Eva Ortega [1997] "Testing Calibrated General Equilibrium Model" pp. 34
189. Fabio Canova [1997] "Does Detrending Matter for the Determination of the Reference Cycle and the Selection of Turning Points?" pp. 35
190. Fabio Canova e Gianni De Nicolò [1997] "The Equity Premium and the Risk Free Rate: A Cross Country, Cross Maturity Examination" pp. 41
191. Fabio Canova e Angel J. Ubide [1997] "International Business Cycles, Financial Market and Household Production" pp. 32
192. Fabio Canova e Gianni De Nicolò [1997] "Stock Returns, Term Structure, Inflation and Real Activity: An International Perspective" pp. 33
193. Fabio Canova e Morten Ravn [1997] "The Macroeconomic Effects of German Unification: Real Adjustments and the Welfare State" pp. 34
194. Fabio Canova [1997] "Detrending and Business Cycle Facts" pp. 40
195. Fabio Canova e Morten O. Ravn [1997] "Crossing the Rio Grande: Migrations, Business Cycle and the Welfare State" pp. 37
196. Fabio Canova e Jane Marrinan [1997] "Sources and Propagation of International Output Cycles: Common Shocks or Transmission?" pp. 41
197. Fabio Canova e Albert Marcet [1997] "The Poor Stay Poor: Non-Convergence Across Countries and Regions" pp. 44
198. Carlo Alberto Magni [1997] "Un Criterio Strutturalista per la Valutazione di Investimenti" pp. 17
199. Stefano Bordini [1997] "Elaborazione Automatica dei Dati" pp. 60
200. Paolo Bertella Farnetti [1997] "The United States and the Origins of European Integration" pp. 19
201. Paolo Bosi [1997] "Sul Controllo Dinamico di un Sistema Pensionistico a Ripartizione di Tipo Contributivo" pp. 17
202. Paola Bertolini [1997] "European Union Agricultural Policy: Problems and Perspectives" pp. 18
203. Stefano Bordini [1997] "Supporti Informatici per la Ricerca delle soluzioni di Problemi Decisionali" pp. 30
204. Carlo Alberto Magni [1997] "Paradossi, Inverosimiglianze e Contraddizioni del Van: Operazioni Aleatorie" pp. 10
205. Carlo Alberto Magni [1997] "Tir, Roe e Van: Distorsioni linguistiche e Cognitive nella Valutazione degli Investimenti" pp. 17
206. Gisella Facchinetti, Roberto Ghiselli Ricci e Silvia Muzzioli [1997] "New Methods For Ranking Triangular Fuzzy Numbers: An Investment Choice" pp. 9
207. Mauro Dell'Amico e Silvano Martello [1997] "Reduction of the Three-Partition Problem" pp. 16
208. Carlo Alberto Magni [1997] "IRR, ROE and NPV: a Systemic Approach" pp. 20
209. Mauro Dell'Amico, Andrea Lodi e Francesco Maffioli [1997] "Solution of the cumulative assignment problem with a well-structured tabu search method" pp. 25
210. Carlo Alberto Magni [1997] "La definizione di investimento e criterio del Tir ovvero: la realtà inventata" pp. 16
211. Carlo Alberto Magni [1997] "Critica alla definizione classica di investimento: un approccio sistemico" pp. 17
212. Alberto Roverato [1997] "Asymptotic prior to posterior analysis for graphical gaussian models" pp. 8
213. Tindara Addabbo [1997] "Povertà nel 1995 analisi statica e dinamica sui redditi familiari" pp. 64
214. Gian Paolo Caselli e Franca Manghi [1997] "La transizione da piano a mercato e il modello di Ising" pp. 15
215. Tindara Addabbo [1998] "Lavoro non pagato e reddito esteso: un'applicazione alle famiglie italiane in cui entrambi i coniugi sono lavoratori dipendenti" pp. 54

216. Tindara Addabbo [1998] "Probabilità di occupazione e aspettative individuali" pp 36
217. Lara Magnani [1998] "Transazioni, contratti e organizzazioni: una chiave di lettura della teoria economica dell'organizzazione" pp 39
218. Michele Lalla, Rosella Molinari e Maria Grazia Modena [1998] "La progressione delle carriere: i percorsi in cardiologia" pp 46
219. Lara Magnani [1998] "L'organizzazione delle transazioni di subfornitura nel distretto industriale" pp 40
220. Antonio Ribba [1998] "Recursive VAR orderings and identification of permanent and transitory shocks" pp 12
221. Antonio Ribba [1998] "Granger-causality and exogeneity in cointegrated Var models" pp 5
222. Luigi Brighi e Marcello D'Amato [1998] "Optimal Procurement in Multiproduct Monopoly" pp 25
223. Paolo Bosi, Maria Cecilia Guerra e Paolo Silvestri [1998] "La spesa sociale nel comune Modena" Rapporto intermedio pp 37
224. Mario Forni e Marco Lippi [1998] "On the Microfoundations of Dynamic Macroeconomics" pp 22
225. Roberto Ghiselli Ricci [1998] "Nuove Proposte di Ordinamento di Numeri Fuzzy. Una Applicazione ad un Problema di Finanziamento" pp 7
226. Tommaso Minerva [1998] "Internet Domande e Risposte" pp 183
227. Tommaso Minerva [1998] "Elementi di Statistica Computazione. Parte Prima: Il Sistema Operativo Unix ed il Linguaggio C" pp. 57
228. Tommaso Minerva and Irene Poli [1998] "A Genetic Algorithms Selection Method for Predictive Neural Nets and Linear Models" pp. 60
229. Tommaso Minerva and Irene Poli [1998] "Building an ARMA Model by using a Genetic Algorithm" pp. 60
230. Mauro Dell'Amico e Paolo Toth [1998] "Algorithms and Codes for Dense Assignment Problems: the State of the Art" pp 35
231. Ennio Cavazzuti e Nicoletta Pacchiarotti [1998] "How to play an hotelling game in a square town" pp 12
232. Alberto Roverato e Irene Poli [1998] "Un algoritmo genetico per la selezione di modelli grafici" pp 11
233. Marcello D'Amato e Barbara Pistoresi [1998] "Delegation of Monetary Policy to a Central Banker with Private Information" pp 15.
234. Graziella Bertocchi e Michael Spagat [1998] "The Evolution of Modern Educational Systems. Technical vs. General Education, Distributional Conflict, and Growth" pp 31
235. André Dumas [1998] "Le système monétaire Européen" pp 24.
236. Gianna Boero, Gianluca Di Lorenzo e Costanza Torricelli [1998] "The influence of short rate predictability and monetary policy on tests of the expectations hypothesis: some comparative evidence" pp 30
237. Carlo Alberto Magni [1998] "A systemic rule for investment decisions: generalizations of the traditional DCF criteria and new conceptions" pp 30
238. Marcello D'Amato e Barbara Pistoresi [1998] "Interest Rate Spreads Between Italy and Germany: 1995-1997" pp 16
239. Paola Bertolini e Alberto Bertacchini [1998] "Il distretto di lavorazioni carni suine in provincia di Modena" pp 29
240. Costanza Torricelli e Gianluca Di Lorenzo [1998] "Una nota sui fondamenti matematico-finanziari della teoria delle aspettative della struttura della scadenza" pp. 15
241. Christophe Croux, Mario Forni e Lucrezia Reichlin [1998] "A Measure of Comovement for Economic Indicators: Theory and Empirics" pp 23.
242. Carlo Alberto Magni [1998] "Note sparse sul dilemma del prigioniero (e non solo) pp 13.
243. Gian Paolo Caselli [1998] The future of mass consumption society in the former planned economies: a macro approach pp 21.
244. Mario Forni, Marc Hallin, Marco Lippi e Lucrezia Reichlin [1998] "The generalized dynamic factor model: identification and estimation" pp 35.
245. Carlo Alberto Magni [1998] "Pictures, language and research: the case of finance and financial mathematics" pp 35.
246. Luigi Brighi [1998] "Demand and generalized monotonicity" pp 21.
247. Mario Forni e Lucrezia Reichlin [1998] "Risk and potential insurance in Europe" pp 20.
248. Tommaso Minerva, Sandra Paterlini e Irene Poli [1998] "A Genetic Algorithm for predictive Neural Network Design (GANND). A Financial Application" pp 12.
249. Gian Paolo Caselli Maurizio Battini [1998] "The Changing Distribution of Earnings in Poland from 1989 to 1996" pp. 9.
250. Mario Forni, Sergio Paba [1998] "Industrial Districts, Social Environment and Local Growth" Evidence from Italy pp. 27.
251. Lara Magnani [1998] "Un'analisi del distretto industriale fondata sulla moderna teoria economica dell'organizzazione" pp. 46.
252. Mario Forni, Lucrezia Reichlin [1998] "Federal Policies and Local Economies: Europe and the US" pp. 24.
253. Luigi Brighi [1998] "A Case of Optimal Regulation with Multidimensional Private Information" pp 20.
254. Barbara Pistoresi, Stefania Luppi [1998] "Gli investimenti diretti esteri nell'America Latina e nel Sud Est Asiatico: 1982-1995" pp 27.
255. Paola Mengoli, Margherita Russo [1998] "Technical and Vocational Education and Training in Italy: Structure and Changes at National and Regional Level" pp 25.
256. Tindara Addabbo [1998] "On-the-Job Search a Microeconomic Analysis on Italian Data" pp. 29.
257. Lorenzo Bertucelli [1999] "Il paternalismo industriale: una discussione storiografica" pp.21.
258. Mario Forni e Marco Lippi [1999] "The generalized dynamic factor model: representation theory" pp. 25.
259. Andrea Ginzburg e Annamaria Simonazzi [1999] "Foreign debt cycles and the 'Gibson Paradox': an interpretative hypothesis" pp. 38.
260. Paolo Bosi [1999] "La riforma della spesa per assistenza dalla Commissione Onofri ad oggi: una valutazione in corso d'opera" pp. 56.
261. Marcello D'Amato e Barbara Pistoresi [1999] "Go and soothe the row. Delegation of monetary policy under private information" pp. 23.
262. Michele Lalla [1999] "Sampling, Maintenance, and Weighting Schemes for Longitudinal Surveys: a Case Study of the Textile and Clothing Industry" pp. 27.
263. Pederzoli Chiara e Torricelli Costanza [1999] "Una rassegna sui metodi di stima del Value at Risk (Var)".
264. Paolo Bosi, Maria Cecilia Guerra e Paolo Silvestri [1999] "La spesa sociale di Modena. La valutazione della condizione economica" pp 74.
265. Graziella Bertocchi e Michael Spagat [1999] "The Politics Co-optation" pp 14.
266. Giovanni Bonifati [1999] "The Capacity to Generate Investment. An analysis of the long-term determinants of investment" pp.22.
267. Tindara Addabbo e Antonella Caiumi [1999] "Extended Income and Inequality by Gender in Italy" pp. 40.
268. Antonella Caiumi e Federico Perali [1999] "Children and Intra-household Distribution of Resources: An Estimate of the Sharing Rule of Italian Households" pp.24
269. Vincenzo Atella, Antonella Caiumi e Federico Perali [1999] "Una scala di equivalenza non vale l'altra" pp.23.

- 270 Tito Pietra e Paolo Siconolfi [1999] "Volume of Trade and Revelation of Information" pp. 33.
- 271 Antonella Picchio [1999] "La questione del lavoro non pagato nella produzione di servizi nel nucleo domestico (Household)" pp.58.
- 272 Margherita Russo [1999] "Complementary Innovations and Generative Relationships in a Small Business Production System: the Case of Kervit" pp.27.
- 273 André Dumas [1999] "L'Economie de la drouge" pp. 12.
- 274 André Dumas [1999] "L'Euro à l'heure actuelle" pp. 12.
- 275 Michele Lalla Gisella Facchinetti [1999] "La valutazione dell'attività didattica: un confronto tra scale di misura e insiemi sfocati" pp.32.
- 276 Mario Biagioli [1999] "Formazione e valorizzazione del capitale umano: un'indagine sui paesi dell'Unione Europea" pp.21.
- 277 Mario Biagioli [1999] "Disoccupazione, formazione del capitale umano e determinazione dei salari individuali: un'indagine su microdati nei paesi dell'Unione Europea" pp.15.
- 278 Gian Paolo Caselli Giulia Bruni [1999] Il settore petrolifero russo, il petrolio del Mar Caspio e gli interessi geopolitici nell'area" pp. 28.
- 279 Luca Gambetti [1999] "The Real Effect of Monetary Policy: a New Var Identification Procedure" pp.22.
- 280 Marcello D'Amato Barbara Pistoiesi [1999] "Assessing Potential Targets for Labour Market Reforms in Italy" pp. 8.
- 281 Gian Paolo Caselli Giulia Bruni e Francesco Pattarin [1999] "Gaddy and Ickes Model of Russian Barter Economy: Some Criticisms and Considerations" pp.10.
- 282 Silvia Muzzioli Costanza Torricelli [1999] "A Model for Pricing an Option with a Fuzzy Payoff" pp. 13.
- 283 Antonella Caiumi Federico Perali [1999] "Povertà e Welfare in Italia in Relazione alla Scelta della Scala di Equivalenza" pp.25.
- 284 Marcello Galli Tommaso Minerva [1999] "Algoritmi Genetici per l'Evoluzione di Modelli Lineari *Metodologia ad Applicazioni*" pp.36.
- 285 Mario Forni Sergio Paba [1999] "Knowledge Spillovers and the Growth of Local Industries" pp. 20.
- 286 Gisella Facchinetti Giovanni Mastroleo [1999] "Un confronto tra uno score card ed un approccio fuzzy per la concessione del credito personale" pp.27.
- 287 Gisella Facchinetti Giovanni Mastroleo e Sergio Paba [1999] "A Statistical and Fuzzy Algorithm for the Identification of Industrial Districts" pp.6.
- 288 Tommaso Minerva [1999] "Didattica e Informatica. *Una indagine Statistica relativa alla Provincia di Modena sul rapporto tra Insegnanti e Nuove Tecnologie*" pp. 46.
- 289 Andrea Ginzburg [1999] "Sraffa e l'analisi sociale: alcune note metodologiche" pp. 37.
- 290 Consolato Pellegrino Carla Fiori [1999] "Piani Formalmente Euclidei" pp. 11.
- 291 Nicolina A. Malara, Maria Teresa Brandoli e Carla Fiori [1999] "Comportamenti di Studenti in Ingresso all'Università di Fronte allo Studio di Disequazioni" pp. 15.
- 292 Consolato Pellegrino Maria Teresa Brandoli [1999] "Il Principio D'Induzione Euristica-Mente Parlando" pp. 11.
- 293 Paolo Bertella Fametti [1999] "Winston Churchill e l'unità europea" pp. 25.
- 294 Tindara Addabbo Massimo Baldini [1999] "Safety net and poverty dynamics in Italy in the early nineties" pp. 23.
- 295 Margherita Russo [2000] "Innovation Dynamics and Industrial Dynamics in a Local Production System. Changes in the Agents/Artifacts Space in Tile Decoration: from Silk Screen to Laser Engraved Silicon Cylinder" pp 45.
- 296 Gianluca Masci e Margherita Russo [2000] "L'attività brevettale nel distretto ceramico, 1971-1998" pp 41.
- 297 Paola Mengoli e Margherita Russo [2000] "Competenze, innovazione e sviluppo locale" pp 31.
- 298 Gian Paolo Caselli e Tommaso Minerva [2000] "The Transitorio Process in Russia and China and the Ising Model" pp 30.
- 299 Gisella Facchinetti, Giovanni Mastroleo e Sergio Paba [2000] "A Fuzzy Approach to the Empirical Identification of Industrial Districts" pp 7.
- 300 Tommaso Minerva, Irene Poli and Sebastiano Brusco [2000] "A Cellular Automaton as a Model to Study the Dynamics of an Industrial District" pp 6.
- 301 Gisella Facchinetti [2000] "Il problema della misurazione del rischio di credito: una rassegna critica di metodologie" pp 13.
- 302 Marco Mazzoli [2000] "Investments and Financial Structure with Imperfect Financial Markets: an Intertemporal Discrete-Time Framework" pp 13.
- 303 Giuseppe Marotta [2000] "Il credito commerciale in Italia: evidenza su dati d'impres" pp 29.
- 304 Marco Mazzoli [2000] "Credit Channel and Industrial Firms' Market power" pp 15.
- 305 Gisella Facchinetti e Giovanni Mastroleo [2000] "The Mamdani and the γ -operator in a Fuzzy Logic Control System" pp 17.
- 306 Giovanni Solinas e Giovanni Mastroleo [2000] "Benchmarking, certificazione della qualità e piccole imprese. La sperimentazione di un modello europeo nelle piccole imprese in Emilia Romagna" pp 45.
- 307 Margherita Russo, Giorgio Allari, Silvano Bertini, Paolo Bonaretti, Elio De Leo, Giuseppe Fiorani and Gianni Rinaldini [2000] "The Challenges for the Next Debate: Notes for a Debate on the Development of the Emilia-Romagna Region" pp 27.
- 308 Giovanni Mastroleo [2000] "L'integrazione dell'indagine statistica con l'approccio fuzzy nel controllo di efficacia: il monitoraggio sugli obiettivi raggiunti nell'ambito di un P.O.M." pp 24.
- 309 Gisella Facchinetti, Stefano Bordini e Giovanni Mastroleo [2000] "Bank Creditworthiness Using Fuzzy Systems: A Comparison with a Classical Analysis Approach" pp 13.
- 310 Margherita Russo e Raffaele Giardino [2000] "Struttura e cambiamento nelle relazioni tra le imprese meccaniche. I. La popolazione di imprese meccaniche della provincia di Modena: procedure impiegate per integrare le informazioni amministrative del Registro Imprese e dell'Inps" pp 32.
- 311 Tommaso Minerva e Sandra Paterlini [2000] "Tecniche Computazionali per la Statistica, l'Economia e la Finanza. *Materiale Didattico a Supporto del Corso di Statistica Computazionale*" pp 52.
- 312 Costanza Torricelli e Silvia Muzzioli [2000] "Combining the Theory of Evidence with Fuzzy Sets for Binomial Option Pricing" pp.20.
- 313 Marco Mazzoli e Roberto Negrini "Strumenti finanziari negoziabili e incentivo-compatibili per le imprese cooperative. *Alcune considerazioni teoriche e di policy*" pp. 32.