

# Analisi di strutture nella ricostruzione di immagini e monumenti

Responsabile: Marco Donatelli  
`marco.donatelli@uninsubria.it`

Bando a Progetti - GNCS 2011

**Numero dei partecipanti:** 9  
**Finanziamento richiesto:** 8000

## 1 Introduzione

Il progetto si pone alla frontiera tra la ricerca di base nel campo dell'algebra lineare numerica strutturata e specifiche applicazioni rivolte in particolare alla ricostruzione di immagini sfocate ed a modelli per la previsione del degrado di pietre monumentali sotto l'azione di inquinanti. Infatti, molteplici strumenti algebrici strutturati precedentemente sviluppati sono pronti all'utilizzo in problemi concreti, con la prospettiva di avanzamenti sostanziali nell'efficienza di algoritmi, nell'accuratezza dei modelli e nella comprensione teorica. D'altro canto nuovi specifici esempi applicativi hanno sollevato questioni teoriche in algebra lineare strutturata che meritano particolare attenzione.

I partecipanti al progetto vantano una prolungata esperienza di ricerca nei campi dell'analisi spettrale e nel calcolo degli autovalori e autovettori di ampie classi di matrici strutturate, nella definizione e nell'analisi di metodi multigrid e tecniche di preconditionamento, oltre che nella regolarizzazione di problemi inversi che intervengono nella ricostruzione di immagini sfocate ed affette da rumore e nel trattamento di equazioni alle derivate parziali (EDP) ellittiche/paraboliche, anche degeneri, che si incontrano sia nella modellazione del degrado monumentale sia nel trattamento di immagini.

La struttura e gli obiettivi del progetto possono essere sintetizzati come segue.

1. Definizione ed analisi teorica di nuovi operatori di proiezione per metodi multigrid basati solo sulle informazioni algebriche del problema, applicabili sia a discretizzazioni agli elementi finiti, sia a problemi di ricostruzione di immagini ed a matrici di grafo.
2. Definizione e studio di metodi multilivello regolarizzanti per la ricostruzione di immagini sfocate ed affette da rumore, combinando tecniche nonlineari di edge-preserving con operatori di trasferimento di griglia regolarizzanti che preservano la struttura.
3. Applicazione di condizioni al contorno in grado di preservare segnali smooth a tecniche di regolarizzazione accurate e solitamente computazionalmente costose, (e.g., Total

Variation (TV), Regularized Total Least Square (RTLS), preconditioned GMRES, etc.), ricorrendo a trasformate discrete veloci di recente sviluppo (generalizzazione di FFT).

4. Studio di metodi impliciti per EDP paraboliche degeneri con applicazioni sia ai modelli di degrado monumentale sia a problemi di ricostruzione di immagini sfocate con termine regolarizzante non lineare.

5. Analisi spettrale di matrici, con struttura nascosta, non Hermitiane associate a simboli a blocchi con applicazioni al preconditionamento di EDP, alla regolarizzazione non lineare, ed a problemi di ricostruzione di segnali o immagini in cui alcuni campionamenti non sono disponibili o in cui le dimensioni del dominio introducono evidenti distorsioni di tipo prospettico.

## 2 Descrizione sintetica del progetto (max 2 pag)

**Convenzione di notazione.** Le citazioni per le pubblicazioni ISI 2007–2009 dei partecipanti sono del tipo: iniziali nome e cognome con numero pubblicazione (esempio: la seconda pubblicazione del responsabile è [MD2]), le altre sono cognome, rivista e anno.

### **Base di partenza.**

1. Metodi multigrid per matrici di Toeplitz sono stati introdotti agli inizi degli anni '90, ma recenti risultati teorici di ottimalità del V-cycle [MD4] e di generalizzazione della classica local Fourier analysis [Donatelli, NLAA2010] hanno suscitato un nuovo interesse sull'argomento in particolare per quanto riguarda la possibilità di definire e studiare nuovi operatori di trasferimento di griglia da un punto di vista prettamente algebrico. In tale ambito tecniche di smoothing aggregation hanno recentemente riscosso un notevole interesse per la loro semplicità ed il ridotto costo computazionale.

2. Tecniche multilivello per la ricostruzione di immagini sfocate al fine di migliorare la ricostruzione di un metodo iterativo regolarizzante (CGLS, LSQR, MR, etc.) sono state recentemente proposte nella letteratura specializzata (e.g. [MD3], Kilmer, Reichel, Sgallari, Chan, etc.). In alcuni lavori è stato studiato in particolare come introdurre strategie di edge-preserving all'interno di un metodo multilivello che preserva la struttura Toeplitz o Toeplitz-like [Serra-Capizzano, LAA2006] dell'operatore di convoluzione e quindi l'efficienza del metodo.

3. Negli ultimi dieci anni lo studio di condizioni al contorno appropriate per la ricostruzione di immagini sfocate, al fine di ridurre gli effetti di ringing preservando il costo computazionale della FFT, ha coinvolto numerosi ricercatori (M. Ng, R. Chan, S. Serra-Capizzano, Bertero, Marquiña, T. Chan, J. Nagy, etc). Alcuni dei partecipanti al progetto si sono occupati in particolare dell'analisi delle condizioni al contorno antiriflettenti [MD1; MD2; MD5].

4. Modelli non lineari per la ricostruzione di immagini sfocate ed affette da rumore sono spesso legati a EDP paraboliche degeneri, le quali compaiono anche in modelli per il degrado di pietre monumentali [Semplice, SISC2010]. Metodi numerici per tali problemi solitamente ricorrono a schemi semi-impliciti per preservare la stabilità mantenendo un contenuto costo computazionale ad ogni iterazione temporale.

5. L'analisi spettrale di matrici Hermitiane è stata affrontata nel dettaglio per molte classi di matrici legate a discretizzazioni di operatori differenziali o integrali anche gra-

zie al contributo di alcuni partecipanti al progetto. Nel caso non Hermitiano molteplici strumenti sono stati individuati [Tilli, JMA1998; SSC11; FDB4; Serra-Capizzano, Sesana, Strouse, LAA2010], ma ancora molte questioni rimangono aperte nell'ambito del preconditionamento nei metodi di Krylov, in specifiche applicazioni di signal processing in tomografia biomedica e civile [FDB2; CE9; Estatico et al., IP2005], eventualmente con dati incompleti.

### **Descrizione della parte scientifica del progetto.**

1. Si considereranno proiezioni su sottospazi frazionari di dimensione inferiore alla metà eventualmente combinati con tecniche di smoothing aggregation. Per la definizione e l'analisi teorica di proiettori su sottospazi frazionari sarà cruciale lo studio delle matrici  $\alpha$ -circolanti ed  $\alpha$ -Toeplitz introdotto in [Ngondiep, Serra-Capizzano, Sesana, SIMAX2010]. Si considereranno successivamente tecniche di aggregazione fornendo un'analisi di convergenza basata sull'ordine degli operatori [MD4; Donatelli, NLAA2010], a cui si aggiungerà uno smoothing del proiettore cercando di ottenere criteri di ottimalità per la scelta del parametro di rilassamento.

2. Si propone di estendere il metodo multilivello introdotto in [Donatelli, Serra Capizzano, SISC2006] e studiato in [MD3] combinandolo con operatori di post-smoothing non lineari. In particolare verrà investigata la possibilità di applicare tecniche di denoising basate su wavelets (o tight frames) definite a partire dal proiettore del metodo multigrid.

3. Le condizioni al contorno antiriflettenti e la loro recente generalizzazione [Donatelli, BIT2010] possono essere utilizzate per definire operatori di smoothing quadrati per la regolarizzazione alla Tikhonov mediante il metodo di Arnoldi e per nuovi preconditionatori regolarizzanti per il GMRES. Un altro metodo di regolarizzazione molto popolare e di interesse è basato sul controllo della variazione totale. Trattandosi di un metodo non lineare l'utilizzo di tecniche di preconditionamento (eventualmente anche di multigrid) e di trasformate veloci legate a condizioni al contorno accurate possono portare a notevoli miglioramenti sia in termini di costo computazionale che di qualità della ricostruzione. Considerazioni analoghe valgono anche per i metodi utilizzati in ambito RTLS.

4. Metodi numerici impliciti permettono la scelta di un passo temporale più lungo rispetto ai metodi semi-impliciti. Il costo computazionale di ogni iterazione temporale sarà mantenuto contenuto risolvendo efficacemente il sistema lineare interno mediante la combinazione di tecniche di preconditionamento e metodi multigrid. I metodi ottenuti saranno poi applicati a modelli di degrado monumentale sia nel caso di griglie alle differenze finite non uniformi che di discretizzazioni agli elementi finiti.

5. Si continuerà ad investigare nuovi strumenti per l'analisi spettrale di matrici non Hermitiane con un'attenzione particolare a classi di matrici caratterizzate da un simbolo a blocchi. I risultati di tale ricerca costituiranno la base per lo sviluppo di algoritmi veloci per la ricostruzione di immagini con sfocamento non uniforme (distorsione prospettica).

### **Obiettivi attesi.**

1. Nuovi operatori di proiezione con un'analisi di convergenza per metodi multigrid algebrici, ottenendo una riduzione del costo computazionale senza perdere in accuratezza rispetto agli operatori utilizzati in letteratura.

2. Migliorare la stabilità ed al tempo stesso la ricostruzione degli edge di alcune classi di metodi multilivello regolarizzanti. Dimostrazione teorica delle proprietà regolarizzanti

dei nuovi metodi così ottenuti.

3. Ricostruzioni di immagini in cui gli effetti di ringing al bordo siano notevolmente ridotti senza aumentare il costo computazionale rispetto ai metodi di regolarizzazione classici nonlineari o RTLS che ricorrono alla FFT o DCT.
4. Previsione dell'evoluzione del profilo dei monumenti in modo accurato mantenendo un costo computazionale contenuto.
5. Precondizionatori efficaci per alcune classi di matrici non Hermitiane ed in particolare per problemi derivanti dalla ricostruzione di segnali con campionamenti incompleti o sfocamento non uniforme.

### 3 Attività del progetto (max 1 pag)

**Missioni.** Si tratterà principalmente di partecipazioni a conferenze dove presentare i risultati della ricerca sviluppata all'interno del progetto e come occasione di confronto con colleghi esterni al progetto sulle tematiche in oggetto. Molti dei componenti del progetto hanno ricevuto inviti per presentare la loro ricerca a congressi nazionali e internazionali. Inoltre la partecipazione anche ad altri congressi internazionali di prestigio potrebbe essere di interesse in particolare per i componenti non strutturati.

Inviti ricevuti:

- 1) “*Congresso UMI*” come plenary speaker (S. Serra Capizzano),
- 2) “*Foundations of Computational Mathematics (FoCM'11)*” nel workshop “Numerical Linear Algebra” e nel workshop “Special functions and orthogonal polynomials”,
- 3) “*International Conference on Scientific Computing 2011 (SC2011)*” nella sessione “Inverse Problems and Regularization” (2 partecipanti),
- 4) “*GAMM 2011*” nella sessione “Applied and numerical linear algebra”.

Altri congressi di interesse per il progetto sono:

- 5) “*Householder Symposium XVIII*”,
- 6) “*Applied Inverse Problems Conference (AIP 2011)*”,
- 7) “*3<sup>rd</sup> International Conference on Matrix Methods in Mathematics and Applications*”,
- 8) “*1<sup>st</sup> International ICST Workshop on New Computational Methods for Inverse Problems*”.

**Visitatori.** Si prevedono visite brevi, al massimo una settimana, di alcuni ricercatori di chiara fama internazionale. Contatti sono già in corso con:

- 1) Prof. Thomas Huckle, Technische Universitat Munchen,
- 2) Prof. Antonio Marquina, Universidad de Valencia,
- 3) Prof. Lothar Reichel, Kent State University,
- 4) Prof. Paul Van Dooren, Catholic University of Louvain,
- 5) Prof. Ronny Ramlau, Johannes Kepler University of Linz,

**Giornate di studio.** Un incontro sarà organizzato all'avvio del progetto per permettere ai partecipanti di presentare le proprie ricerche correnti ed idee inerenti al progetto, oltre che per pianificare il lavoro iniziale. Il costo di tale capitolo di spesa è contenuto, dato che la maggioranza dei partecipanti è in servizio presso l'Università dell'Insubria, dove verranno organizzati tali incontri.

## 4 Partecipanti al progetto

### Partecipanti strutturati

1. **Partecipante:** DI BENEDETTO Fabio  
**Posizione:** Professore Associato  
**Affiliazione:** Università degli Studi di Genova  
**e-mail:** dibenede@dima.unige.it  
**Pubblicazioni:**
  1. F. DI BENEDETTO, *Gram matrices of fast algebras have a rank structure*, SIAM J. Matrix Anal. Appl., 31–2 (2009), pp. 526-545.
  2. F. DI BENEDETTO, C. ESTATICO, J. G. NAGY, AND M. PASTORINO, *Numerical linear algebra for nonlinear microwave imaging* Electron. Trans. Numer. Anal., 33 (2008/09), pp. 105-125.
  3. P. BRIANZI, F. DI BENEDETTO, AND C. ESTATICO, *Improvement of space-invariant image deblurring by preconditioned Landweber iterations*, SIAM J. Sci. Comput., 30–3 (2008), pp. 1430-1458.
  4. D. BERTACCINI AND F. DI BENEDETTO, *Spectral analysis of nonsymmetric quasi-Toeplitz matrices with applications to preconditioned multistep formulas*, SIAM J. Numer. Anal., 45–6 (2007), pp. 2345-2367.
  
2. **Responsabile:** DONATELLI Marco (Responsabile)  
**Posizione:** Ricercatore confermato  
**Affiliazione:** Università degli Studi dell’Insubria  
**e-mail:** marco.donatelli@uninsubria.it  
**Pubblicazioni:**
  1. A. ARICÒ, M. DONATELLI, AND S. SERRA-CAPIZZANO, *The anti-reflective algebra: structural and computational analysis with application to image deblurring and denoising*, Calcolo, 45–3 (2008), pp. 149–175.
  2. A. ARICÒ, M. DONATELLI, AND S. SERRA-CAPIZZANO, *Spectral analysis of the anti-reflective algebra*, Linear Algebra Appl., 428 (2008), pp. 657–675.
  3. M. DONATELLI AND S. SERRA-CAPIZZANO, *Filter factor analysis of an iterative multilevel regularizing method*, Electron. Trans. Numer. Anal., 29 (2007/2008), pp. 163–177.
  4. A. ARICÒ AND M. DONATELLI, *A V-cycle Multigrid for multilevel matrix algebras: proof of optimality*, Numer. Math., 105–4 (2007), pp. 511–547.
  5. M. DONATELLI, C. ESTATICO, AND S. SERRA CAPIZZANO, *Boundary conditions and multiple-image re-blurring: the LBT case*, J. Comput. Appl. Math., 198–2 (2007), pp. 426–442.
  
3. **Partecipante:** ESTATICO Claudio  
**Posizione:** Ricercatore confermato  
**Affiliazione:** Università degli Studi dell’Insubria  
**e-mail:** claudio.estatico@uninsubria.it  
**Pubblicazioni:**

1. C. ESTATICO, *Preconditioners for ill-posed Toeplitz matrices with differentiable generating functions*, Numer. Linear Algebra Appl., 16–3 (2009), pp. 237–257.
  2. F. DI BENEDETTO, C. ESTATICO, J. G. NAGY, AND M. PASTORINO, *Numerical linear algebra for nonlinear microwave imaging* Electron. Trans. Numer. Anal., 33 (2008/09), pp. 105–125.
  3. P. BRIANZI, F. DI BENEDETTO, AND C. ESTATICO, *Improvement of space-invariant image deblurring by preconditioned Landweber iterations*, SIAM J. Sci. Comput., 30–3 (2008), pp. 1430–1458.
  4. C. ESTATICO AND S. SERRA-CAPIZZANO, *Superoptimal approximation for unbounded symbols*, Linear Algebra Appl., 428 (2008), pp. 564–585.
  5. C. ESTATICO, *Regularized fast multiple-image deconvolution for LBT*, J. Comput. Appl. Math., 198–2 (2007), pp. 443–459.
  6. M. DONATELLI, C. ESTATICO, AND S. SERRA CAPIZZANO, *Boundary conditions and multiple-image re-blurring: the LBT case*, J. Comput. Appl. Math., 198–2 (2007), pp. 426–442.
  7. G. BOZZA, C. ESTATICO, M. PASTORINO, A. RANDAZZO, *Microwave Imaging for non-destructive evaluation of dielectric structures: numerical simulations by using an Inexact-Newton method*, Mater. Eval., 65 (2007), pp. 917–922.
  8. G. BOZZA, C. ESTATICO, A. MASSA, M. PASTORINO, A. RANDAZZO, *Short-range image-based method for the inspection of strong scatterers using microwaves*, IEEE Trans. Instrum. Meas., 56 (2007), pp. 1181–1188.
  9. G. BOZZA, C. ESTATICO, M. PASTORINO, A. RANDAZZO, *Application of an Inexact Newton method within the second-order Born approximation to buried objects*, IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., 4 (2007), pp. 51–55.
4. **Partecipante:** MASTRONARDI Nicola  
**Posizione:** Dirigente di Ricerca  
**Affiliazione:** CNR (Istituto per le Applicazioni del Calcolo “M. Picone” - Bari)  
**e-mail:** n.mastronardi@ba.iac.cnr.it  
**Pubblicazioni:**
1. N. MASTRONARDI, NICOLA, M. VAN BAREL, AND R. VANDEBRIL, *On the computation of the null space of Toeplitz-like matrices*, Electron. Trans. Numer. Anal., 33 (2008/09), pp. 151–162.
  2. R. VANDEBRIL, M. VAN BAREL, AND N. MASTRONARDI, *A new iteration for computing the eigenvalues of semiseparable (plus diagonal) matrices*, Electron. Trans. Numer. Anal., 33 (2008/09), pp. 126–150.
  3. T. LAUDADIO, N. MASTRONARDI, AND M. VAN BAREL, *Computing a lower bound of the smallest eigenvalue of a symmetric positive-definite Toeplitz matrix*, IEEE Trans. Inform. Theory, 54–10 (2008), pp. 4726–4731
  4. N. MASTRONARDI AND D. P. O’LEARY, *Fast robust regression algorithms for problems with Toeplitz structure*, Comput. Statist. Data Anal., 52–2 (2008), pp. 1119–1131.
  5. S. VAN HUFFEL, C. L. CHENG, N. MASTRONARDI, C. PAIGE, AND A. KUKUSH, *Total least squares and errors-in-variables modeling*, Comput. Statist. Data Anal., 52–2 (2008), pp. 1076–1079.

6. R. VANDEBRIL, M. VAN BAREL, AND N. MASTRONARDI, *A parallel QR-factorization/solver of quasiseparable matrices*, Electron. Trans. Numer. Anal., 30 (2008), pp. 144-167.
  7. R. VANDEBRIL, M. VAN BAREL, AND N. MASTRONARDI, *Matrix computations and semiseparable matrices. Vol. II. Eigenvalue and singular value methods*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 2008.
  8. L. DE LATHAUWER, P. COMON, AND N. MASTRONARDI, *Special issue on tensor decompositions and applications*, SIAM J. Matrix Anal. Appl., 30–3 (2008).
  9. R. VANDEBRIL, M. VAN BAREL, AND N. MASTRONARDI, *Rational QR-iteration without inversion*, Numer. Math., 110–4 (2008), pp. 561-575.
  10. N. MASTRONARDI, M. VAN BAREL, AND R. VANDEBRIL, *A fast algorithm for the recursive calculation of dominant singular subspaces*, J. Comput. Appl. Math., 218–2 (2008), pp. 238-246.
  11. N. MASTRONARDI, M. VAN BAREL, AND R. VANDEBRIL, *A fast algorithm for computing the smallest eigenvalue of a symmetric positive-definite Toeplitz matrix*, Numer. Linear Algebra Appl., 15–4 (2008), pp. 327-337.
  12. R. VANDEBRIL, M. VAN BAREL, AND N. MASTRONARDI, *Matrix computations and semiseparable matrices. Vol. 1. Linear systems*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 2008.
  13. N. MASTRONARDI, M. VAN BAREL, AND R. VANDEBRIL, *A Schur-based algorithm for computing bounds to the smallest eigenvalue of a symmetric positive definite Toeplitz matrix*, Linear Algebra Appl., 428 (2008), pp. 479-491.
  14. N. MASTRONARDI, G. GOLUB, S. CHANDRASEKARAN, M. MOONEN, P. VAN DOOREN, AND S. VAN HUFFEL, *Numerical linear algebra in signal processing applications*, EURASIP J. Adv. Signal Process., 2007, Art. ID 26914, 3 pp.
  15. R. VANDEBRIL, N. MASTRONARDI, AND M. VAN BAREL, *Solving linear systems with a Levinson-like solver*. Electron. Trans. Numer. Anal., 26 (2007), pp. 243-269.
  16. R. VANDEBRIL, N. MASTRONARDI, AND M. VAN BAREL, *A Levinson-like algorithm for symmetric strongly nonsingular higher order semiseparable plus band matrices*, J. Comput. Appl. Math., 198–1 (2007), pp. 75-97.
5. **Partecipante:** SERRA CAPIZZANO Stefano  
**Posizione:** Professore Ordinario  
**Affiliazione:** Università degli Studi dell’Insubria  
**e-mail:** stefano.serrac@uninsubria.it  
**Pubblicazioni:**
1. S. SERRA-CAPIZZANO AND D. SESANA, *Tools for the eigenvalue distribution in a non-Hermitian setting*, Linear Algebra Appl., 430–1 (2009), pp. 423–437.
  2. A. ARICÒ, M. DONATELLI, AND S. SERRA-CAPIZZANO, *The anti-reflective algebra: structural and computational analysis with application to image deblurring and denoising*, Calcolo, 45–3 (2008), pp. 149–175.
  3. S. SERRA-CAPIZZANO AND P. SUNDQVIST, *Stability of the notion of approximating class of sequences and applications*, J. Comput. Appl. Math., 219–2

(2008), pp. 518-536.

4. A. ARICÒ, M. DONATELLI, AND S. SERRA-CAPIZZANO, *Spectral analysis of the anti-reflective algebra*, Linear Algebra Appl., 428 (2008), pp. 657–675.
5. D. NOUSOS, S. SERRA CAPIZZANO, AND P. VASSALOS, *The conditioning of FD matrix sequences coming from semi-elliptic differential equations*, Linear Algebra Appl., 428 (2008), pp. 600-624.
6. C. ESTATICO AND S. SERRA-CAPIZZANO, *Superoptimal approximation for unbounded symbols*, Linear Algebra Appl., 428 (2008), pp. 564-585.
7. M. DONATELLI AND S. SERRA-CAPIZZANO, *Filter factor analysis of an iterative multilevel regularizing method*, Electron. Trans. Numer. Anal., 29 (2007/2008), pp. 163–177.
8. S. SERRA-CAPIZZANO *Simplification of a result on banded Toeplitz matrices and BVM methods*, Numer. Math., 107–1 (2007), pp. 175-179.
9. S. SERRA-CAPIZZANO, *The spectral approximation of multiplication operators via asymptotic (structured) linear algebra*, Linear Algebra Appl., 424–1 (2007), pp. 154-176.
10. B. BECKERMANN AND S. SERRA-CAPIZZANO, *On the asymptotic spectrum of finite element matrix sequences*, SIAM J. Numer. Anal., 45–2 (2007), pp. 746-769.
11. L. GOLINSKII AND S. SERRA-CAPIZZANO, *The asymptotic properties of the spectrum of nonsymmetrically perturbed Jacobi matrix sequences*, J. Approx. Theory, 144–1 (2007), pp. 84-102.
12. M. DONATELLI, C. ESTATICO, AND S. SERRA CAPIZZANO, *Boundary conditions and multiple-image re-blurring: the LBT case*, J. Comput. Appl. Math., 198–2 (2007), pp. 426–442.
13. D. BERTACCINI, G. GOLUB AND S. SERRA-CAPIZZANO, *Spectral analysis of a preconditioned iterative method for the convection-diffusion equation*, SIAM J. Matrix Anal. Appl., 29–1 (2007), pp. 260-278.

## Partecipanti non strutturati

6. **Partecipante:** ARICÒ Antonio

**Posizione:** Assegnista di ricerca

**Affiliazione:** Università degli Studi di Cagliari

**e-mail:** arico@unica.it

**Pubblicazioni:**

1. A. ARICÒ, C. VAN DER MEE, AND S. SEATZU, *Structured matrix numerical solution of the nonlinear Schrodinger equation by the inverse scattering transform*, Electron. J. Diff. Eqns., 2009–15 (2009), pp. 1–21.
2. A. ARICÒ, M. DONATELLI, AND S. SERRA-CAPIZZANO, *Spectral analysis of the anti-reflective algebra*, Linear Algebra Appl., 428 (2008), pp. 657–675.
3. A. ARICÒ AND M. DONATELLI, *A V-cycle Multigrid for multilevel matrix*



*algebras: proof of optimality*, Numer. Math., 105–4 (2007), pp. 511–547.

7. **Partecipante:** DELL'ACQUA Pietro

**Posizione:** Dottorando

**Affiliazione:** Università degli Studi dell'Insubria

**e-mail:** peterwater@interfree.it

8. **Partecipante:** SEMPLICE Matteo

**Posizione:** Assegnista di ricerca

**Affiliazione:** Università degli Studi dell'Insubria

**e-mail:** matteo.semplice@uninsubria.it

**Pubblicazioni:**

1. F. CAVALLI, G. NALDI, G. PUPPO, AND M. SEMPLICE, *A family of relaxation schemes for nonlinear convection diffusion problems*, Commun. Comput. Phys., 5 (2009), pp. 532-545.

2. F. CAVALLI, A. GAMBA, G. NALDI, M. SEMPLICE, D. VALDEMBRI, AND G. SERINI, *3D simulations of early blood vessel formation*, J. Comput. Phys. 225–2 (2007), pp. 2283-2300.

3. F. CAVALLI, G. NALDI, G. PUPPO, AND M. SEMPLICE, *High-order relaxation schemes for non linear degenerate diffusion problems*, SIAM J. Numer. Anal., 45–5 (2007), pp. 2098–2119.

9. **Partecipante:** SESANA Debora

**Posizione:** Assegnista di ricerca

**Affiliazione:** Università degli Studi del Piemonte Orientale

**e-mail:** debora.sesana@eco.unipmn.it

**Pubblicazioni:**

1. S. SERRA-CAPIZZANO AND D. SESANA, *Tools for the eigenvalue distribution in a non-Hermitian setting*, Linear Algebra Appl., 430–1 (2009), pp. 423–437.

## 5 Budget di previsione

Voce	Keuro	Descrizione
Missioni	6.5	<i>8-10 partecipazioni a congressi internazionali</i>
Visitatori	1	<i>viaggio o 3 notti di albergo per 3/4 visitatori</i>
Giornata di studio	0.5	<i>treno per 3/4 + albergo per 2 partecipanti</i>
Totale	8	

Tabella 1: Quadro riassuntivo delle spese del progetto