

6 CALCOLO DI TRANSITORI

6.1 PREMESSA

Uno degli scopi che si cerca di perseguire nel progetto di un qualsiasi impianto e' quello di rendere massima l'affidabilita' e la durata dell'impianto medesimo. Questo vale, ovviamente, anche per il canale del generatore MHD, che e' uno dei componenti critici di un impianto per la produzione di energia elettrica mediante ciclo combinato, e la cui efficienza va ad influenzare le prestazioni dell'intero sistema. A questo scopo, in sede di progetto, si deve cercare di limitare il piu' possibile il livello di stress a carico del componente preso in esame, compatibilmente con le prestazioni richieste dal generatore.

Tipicamente, i limiti che il canale non deve eccedere sono prevalentemente dovuti a ragioni di carattere tecnologico: il loro superamento comporta sempre una diminuzione della vita del generatore. D'altronde tali limiti possono influenzare pesantemente l'efficienza dell'impianto e restringere il possibile campo di applicazione del generatore MHD.

In fase di progetto e' necessario, quindi, stabilire caso per caso il giusto compromesso fra esigenze di efficienza, da un lato, ed affidabilita', dall'altro. Per fare questo occorre riferirsi a quelle fasi, nella vita di un impianto, in cui si vengono a realizzare le condizioni di funzionamento piu' gravose; quali, ad esempio, brusche variazioni del carico, fasi di avviamento e spegnimento, possibili guasti dell'impianto.

Onde prevenire fenomeni indesiderati in grado di arrecare danno al canale, si individuano due diverse strategie: possono essere studiati i transitori possibili e tenere conto, in fase di progetto, delle limitazioni tecnologiche che derivano da ciascun di essi; oppure, per ogni evento che possa aver luogo ai danni dell'impianto, si studia una possibile manovra in grado di impedire a ciascuna grandezza il superamento dei limiti prefissati. Queste due opzioni richiedono la possibilita' di disporre, in fase progettuale, di uno strumento che consenta lo studio di fenomeni transitori piu' importanti con un certo grado di accuratezza.

Le principali cause di stress per il condotto MHD sono dovute al campo elettrico, alla densita' di corrente ed alla densita' di potenza.

Anche i fenomeni di attrito e gli intensi flussi di calore possono arrecare danno ai materiali delle pareti. In particolare, campi elettrici longitudinali troppo elevati sono in grado di causare scariche fra elettrodi adiacenti con formazione di arco elettrico nello strato limite e grave detrimento

sia degli elettrodi, sia dell'isolante. Densità di corrente troppo elevate, inoltre, possono provocare a causa del moto e delle ineliminabili disuniformità della conducibilità del plasma, concentrazioni locali di corrente. Ciò comporta l'innalzamento della temperatura sino all'eventuale perforazione dell'elettrodo. La densità di potenza, inoltre, accresce ed accentua questi fenomeni. Essa è, inoltre, responsabile, insieme al flusso di calore attraverso le pareti, del riscaldamento di queste. È opportuno notare, infine, che il plasma fluisce entro il canale MHD ad alta velocità e temperatura contribuendo, così, all'aumento della corrosione e dell'erosione.

Il livello tecnologico attuale suggerisce di limitare il campo elettrico a valori di 2-4 kV/m, la densità di corrente a 0.7-1 A/cm², il flusso termico alle pareti a valori di 20-25 kW/m².

Lo scopo dei codici descritti al capitolo 3 è, appunto, quello di rilevare l'andamento delle grandezze macroscopiche all'interno del condotto nella fase di transitorio. In particolare, trattandosi di modelli multidimensionali, sono stati sviluppati al fine di indagare con maggiore accuratezza le zone di strato limite, in prossimità della parete, le zone di ingresso ed uscita del canale e quelle in cui avviene l'estrazione di potenza; zone in cui possono avere luogo i fenomeni di deperimento tecnologico sopra elencati.

Data la scarsità ed incompletezza, al momento, di dati sperimentali relativi a transitori MHD, per validare il codice si sono confrontati i risultati da esso forniti con quelli ottenuti da altri autori [35,36].

Si tratta, anche in questi casi, di calcoli effettuati mediante modelli matematici validati principalmente per confronto con dati sperimentali relativi a regimi stazionari. Si è ottenuta, quindi, una validazione indiretta del modello limitata dalla validità stessa dei risultati assunti come termine di confronto.

Si presentano, nei prossimi paragrafi, come esempio di applicazione dei modelli bidimensionali temporali implementati, i risultati relativi ad un condotto di riferimento di taglia media. Si tratta del canale MHD del generatore IA₄ costruito presso il Component Development Integration and Facility (CDIF), Butte, Montana, USA. Il generatore IA₄ è un generatore a ciclo aperto, alimentato dalla combustione di carbone. I fumi sono additivati con K₂CO₃. I principali parametri di progetto sono riportati dalla Tabella 6.1.

Il plasma viene accelerato all'ingresso da un convergente-divergente, e viene decelerato all'uscita del diffusore. In figura 6.1.1 sono mostrate le dimensioni del convergente-divergente e della zona attiva del canale, lunga 4.34 m. La distanza tra le pareti elettrodiche è costante e pari a 0.29 m. Il dominio bidimensionale di calcolo è, quindi, rettangolare.

Potenza nominale termica	50 MW _t
Portata totale in massa	9.2 Kg/s
Pressione nominale nel bruciatore	6 Atm
Additivo	K ₂ CO ₃
Temperatura di ingresso	2700 °K
Percentuali di ceneri trasportate nel canale	30%
Numero di elettrodi nella zona attiva	245

Tab. 6.1.1 - Principali parametri di progetto del condotto preso in esame per l'analisi di transitori

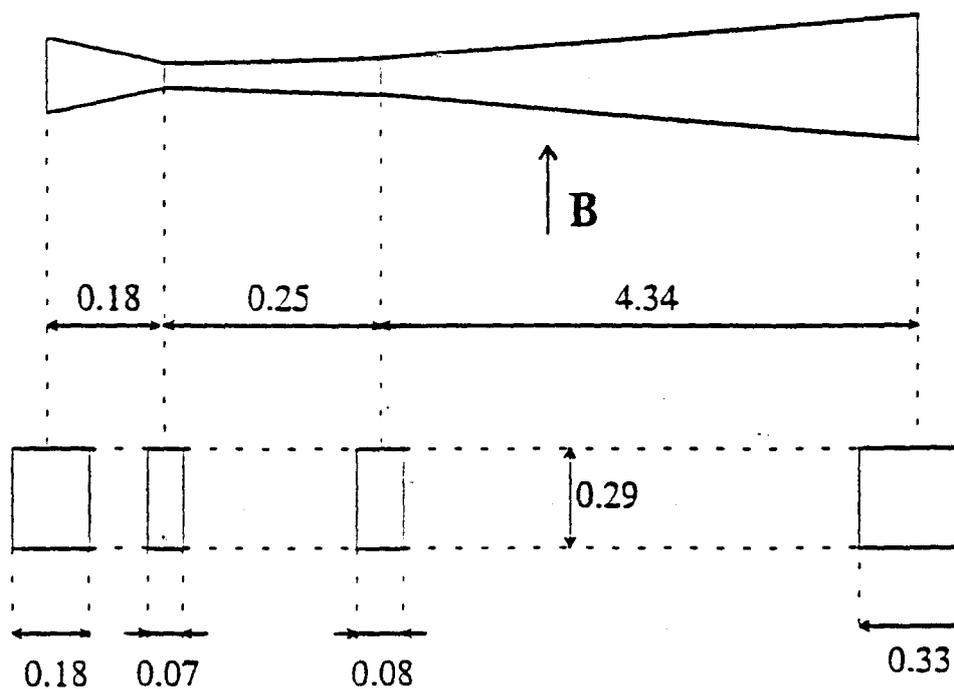


Fig. 6.1.1 - Dimensioni del convergente-divergente e della zona attiva del canale.

Le misure sono fornite in metri.

Vengono, inoltre, analizzati transitori relativi ad un canale di soli 2 metri con gli stessi parametri di progetto e geometria di quello del IA₄ - CDIF.

Il metodo matematico che fa uso del modello di Casulli viene, inoltre, impiegato per l'analisi di transitori in un generatore MHD a plasma non uniforme.

6.2 DISTRIBUZIONE DELLE GRANDEZZE ELETTRODINAMICHE

Come già espresso al capitolo 2, il modello numerico bidimensionale tempodipendente fluidodinamico deve essere accoppiato ad un modello elettrodinamico bidimensionale stazionario. Infatti, le grandezze elettromagnetiche che compaiono nella equazione vettoriale (2.4.1) sono termini di sorgente per l'equazione medesima. Questo grazie al numero di Reynolds magnetico essendo molto minore di uno, consente di separare i due problemi, fluidodinamica ed elettrodinamica, e di risolverli indipendentemente l'uno dall'altro. I risultati riportati nei paragrafi successivi sono ottenuti facendo riferimento ad una distribuzione delle grandezze elettrodinamiche ottenuta, a seconda del fattore di carico k in gioco, facendo uso di un codice agli elementi finiti FEM già testato mediante confronto con i dati sperimentali.

Il generatore presenta una connessione elettrica di tipo diagonale e la Fig. 6.2.1 mostra l'andamento del vettore induzione magnetica \mathbf{B} rispetto alla coordinata x .

Nel caso di fattore di carico ottimale $k=0.5$ la distribuzione delle grandezze nelle sezioni di ingresso, uscita e sezione centrale del canale (sezioni utilizzate per la verifica degli andamenti delle grandezze macroscopiche rispetto alla coordinata y) che si è utilizzata per l'analisi dei transistori e' riportata dalle Figg. 6.2.2, 6.2.3 e 6.2.4.

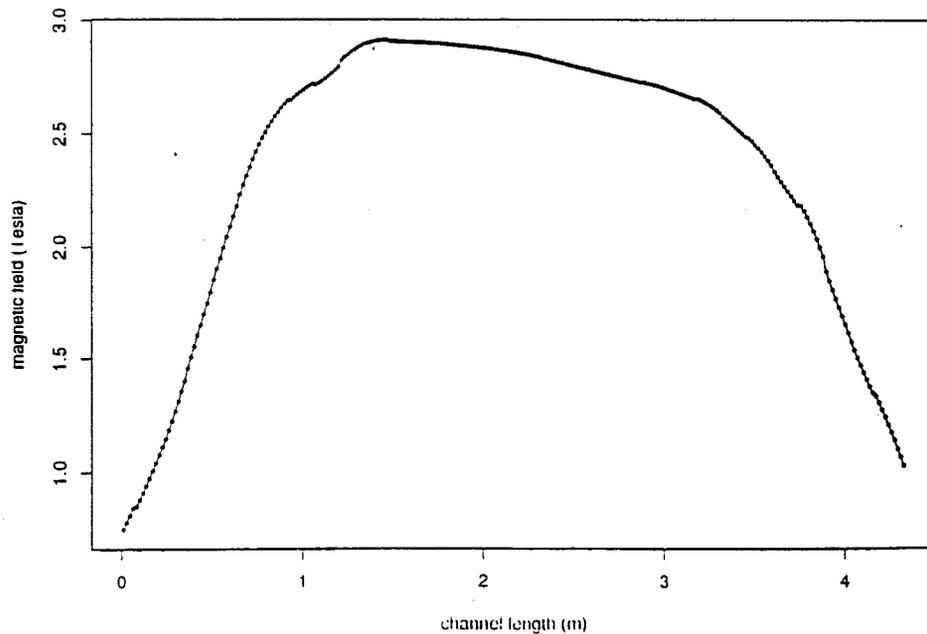


Fig. 6.2.1 - Andamento del vettore induzione magnetica \mathbf{B} rispetto all'asse x

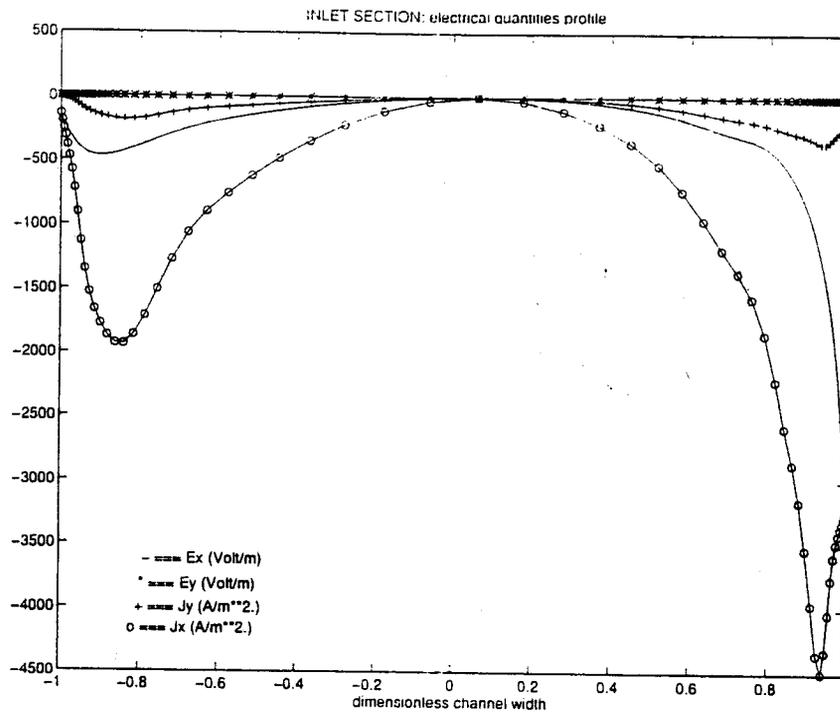


Fig. 6.2.2 - Andamento delle grandezze elettrodinamiche nella sezione di ingresso del canale

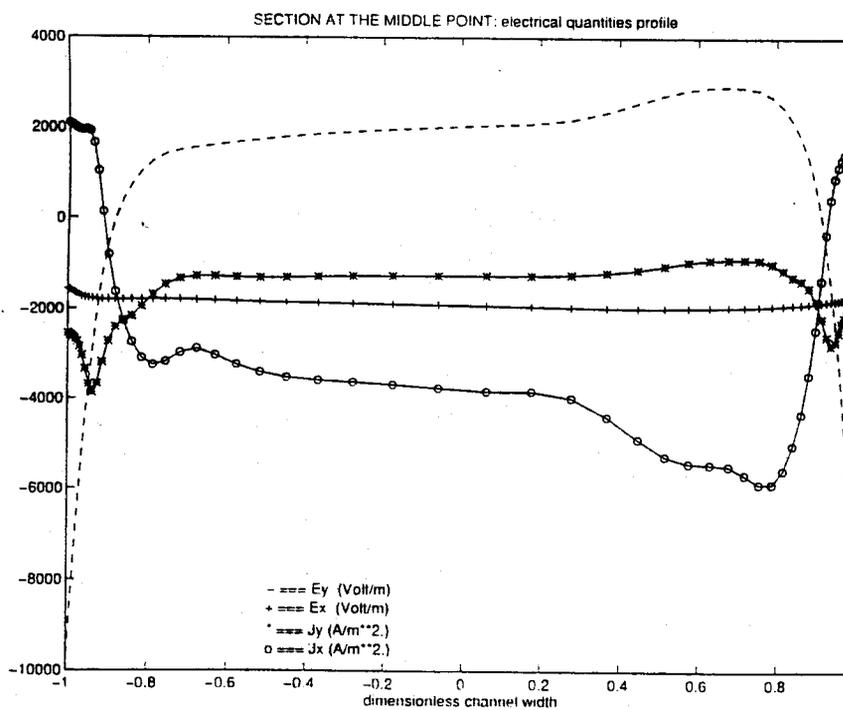


Fig. 6.2.3 - Andamento delle grandezze elettrodinamiche nella sezione centrale del canale

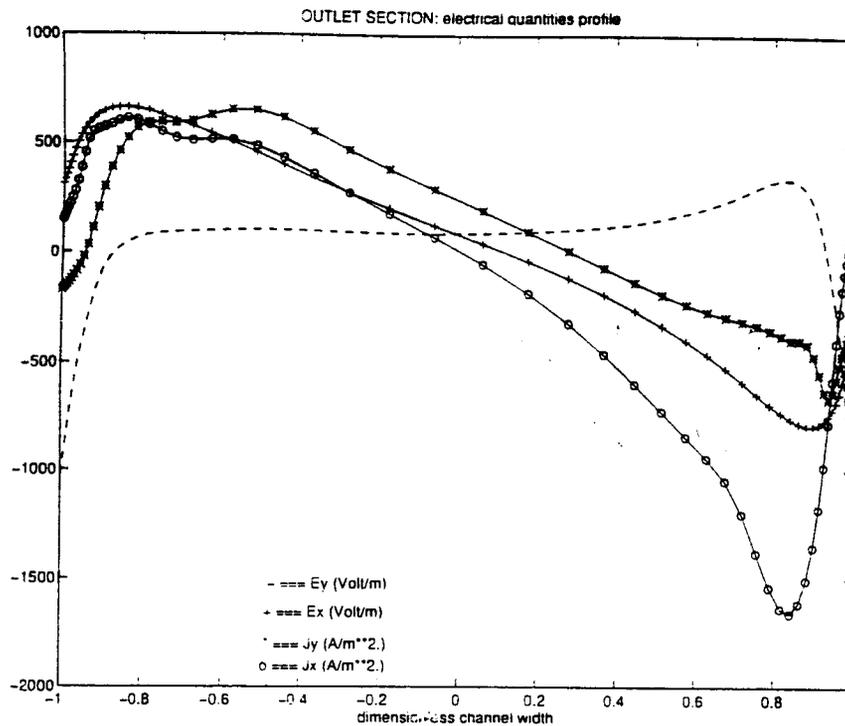


Fig. 6.2.4 - Andamento delle grandezze elettromagnetiche nella sezione di uscita del canale

6.3 RISULTATI NUMERICI

Facendo uso del metodo numerico di MacCormack implicito descritto al paragrafo 3.2 sono stati analizzati tre diversi casi di transitorio relativi al canale del generatore $1A_4$ del CDIF. Per l'analisi di questi transienti il salto di pressione, fra ingresso ed uscita del canale, e' stato tenuto molto basso, in quanto, causa la poca dissipazione artificiale che contraddistingue il metodo, gli errori di troncamento introdotti dalla discretizzazione finiscono con l'innescare, per alti numeri di Reynolds, fenomeni di instabilita' numerica. Ne risulta che il regime di flusso del plasma e' fortemente subsonico. Per tutti i tre casi di transitorio analizzati, il condotto e' stato suddiviso in 244 celle in direzione x ed in 60 celle in direzione y.

Il primo caso di transitorio analizzato consiste nel passaggio del fattore di carico del generatore da $k=1$ (circuito aperto) a $k=0.5$, fattore di carico ottimale; transitorio che, dal punto di vista fisico, consiste in un istantaneo collegamento del generatore stesso al carico elettrico e che prende nome di "transitorio di corto circuito". All'istante $t=0^-$ (istante precedente l'innescamento del

fenomeno transitorio), quando il generatore si trova in regime di circuito aperto, la distribuzione delle grandezze elettromagnetiche, campo elettrico e densità di corrente, è ovunque nulla su tutto il condotto. Per $k=0.5$ si considera una distribuzione delle grandezze elettromagnetiche che dà luogo agli andamenti riportati in Figg. 6.2.1, 6.2.2 e 6.2.3 nelle tre sezioni di controllo del canale. Il transitorio ha una durata di 34 millisecondi e la simulazione richiede circa 2 ore di CPU time di una Alpha Digital.

Le Figg. 6.3.1, 6.3.2 e 6.3.3 descrivono l'evolversi del profilo della componente u della velocità durante il transitorio, nelle tre sezioni di controllo del canale: sezione di ingresso, sezione centrale e sezione di uscita.

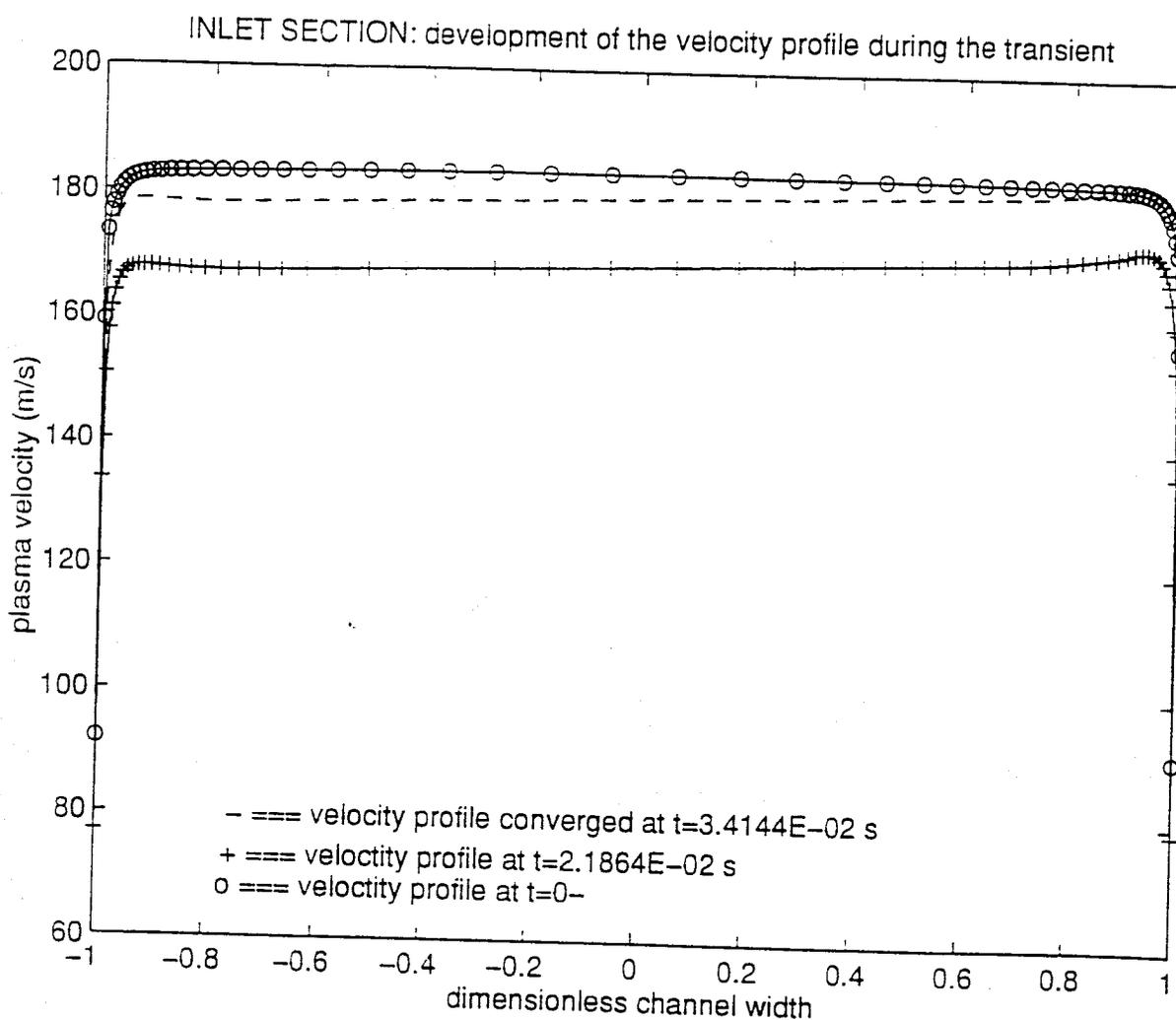


Fig. 6.3.1 - Evoluzione del profilo di velocità nella sezione di ingresso durante il transitorio al corto circuito

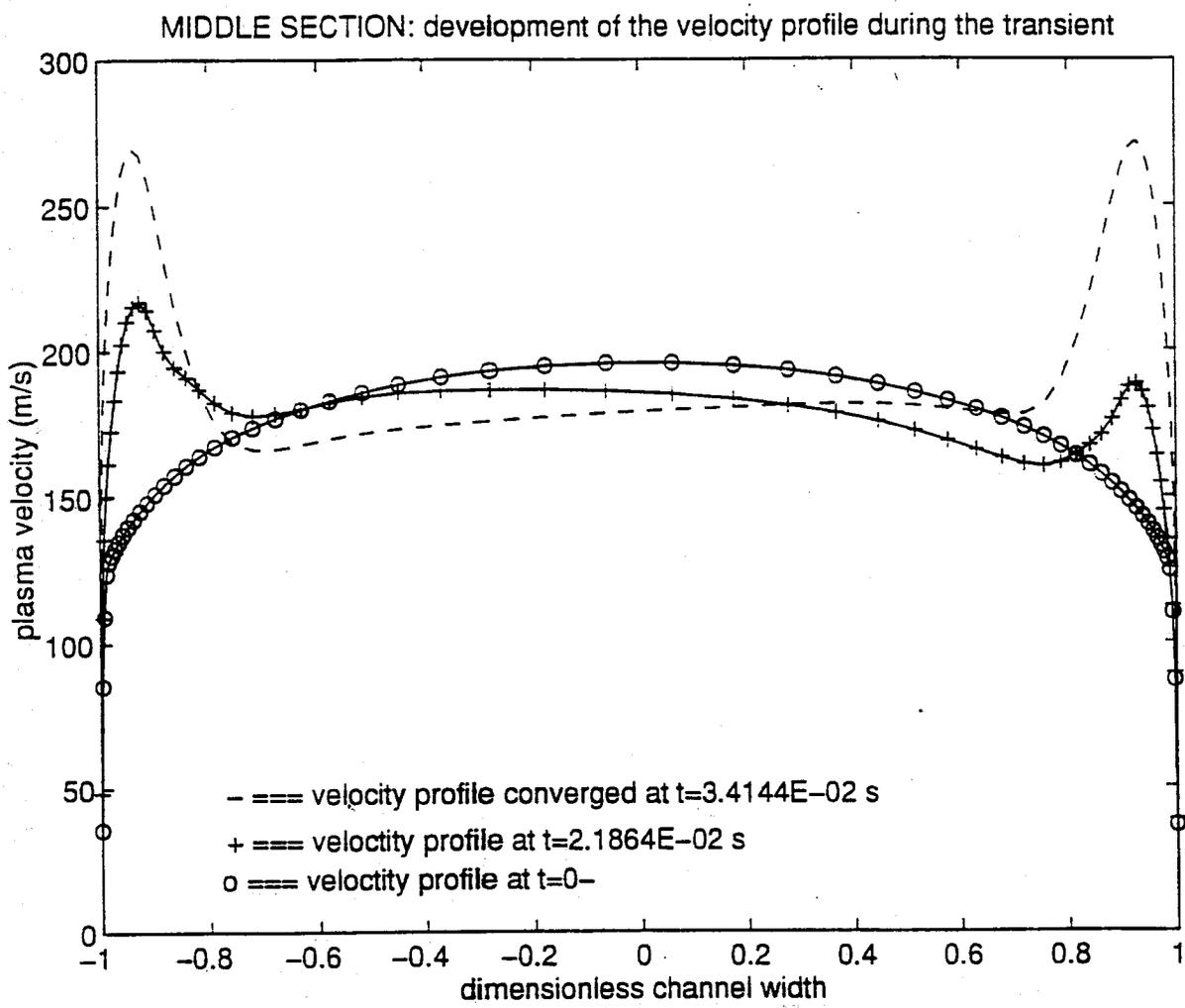


Fig. 6.3.2 - Evoluzione del profilo di velocità nella sezione centrale durante il transitorio di corto circuito

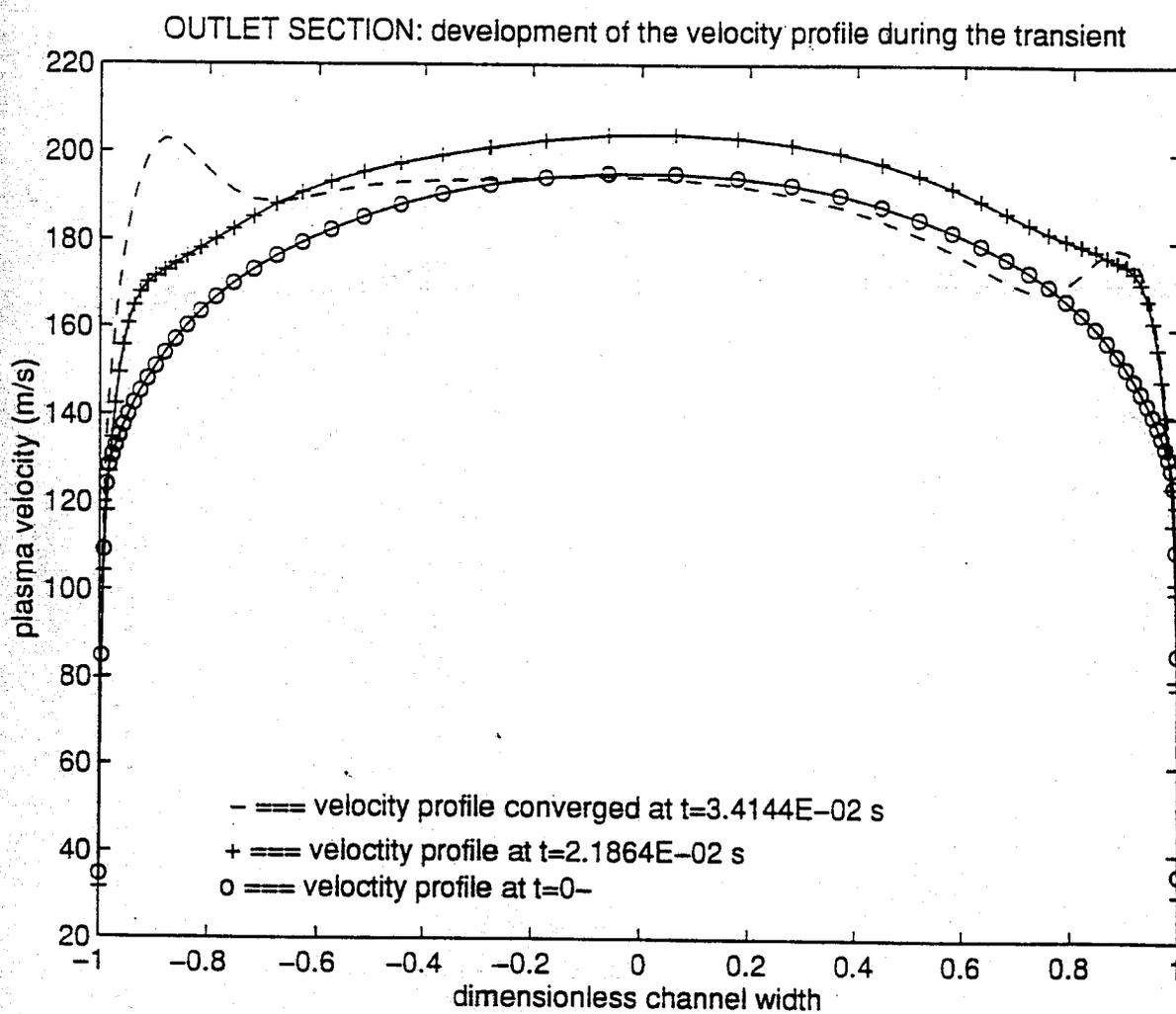


Fig. 6.3.3 - Evoluzione del profilo di velocità nella sezione di uscita durante il transitorio di corto circuito

Le Figg. 6.3.4, 6.3.5 e 6.3.6 descrivono il confronto, in tre istanti di tempo precelti, del profilo di velocità nelle tre sezioni di controllo del canale. Tale confronto consente di valutare lo svilupparsi del profilo della componente u della velocità lungo il canale. La Fig. 6.3.7 descrive l'evolversi nel tempo dell'andamento della pressione statica alla parete rispetto ad x , e la Fig. 6.3.8 presenta l'evolversi nel tempo dell'andamento della componente u della velocità rispetto all'asse x , nella sezione centrale del canale.

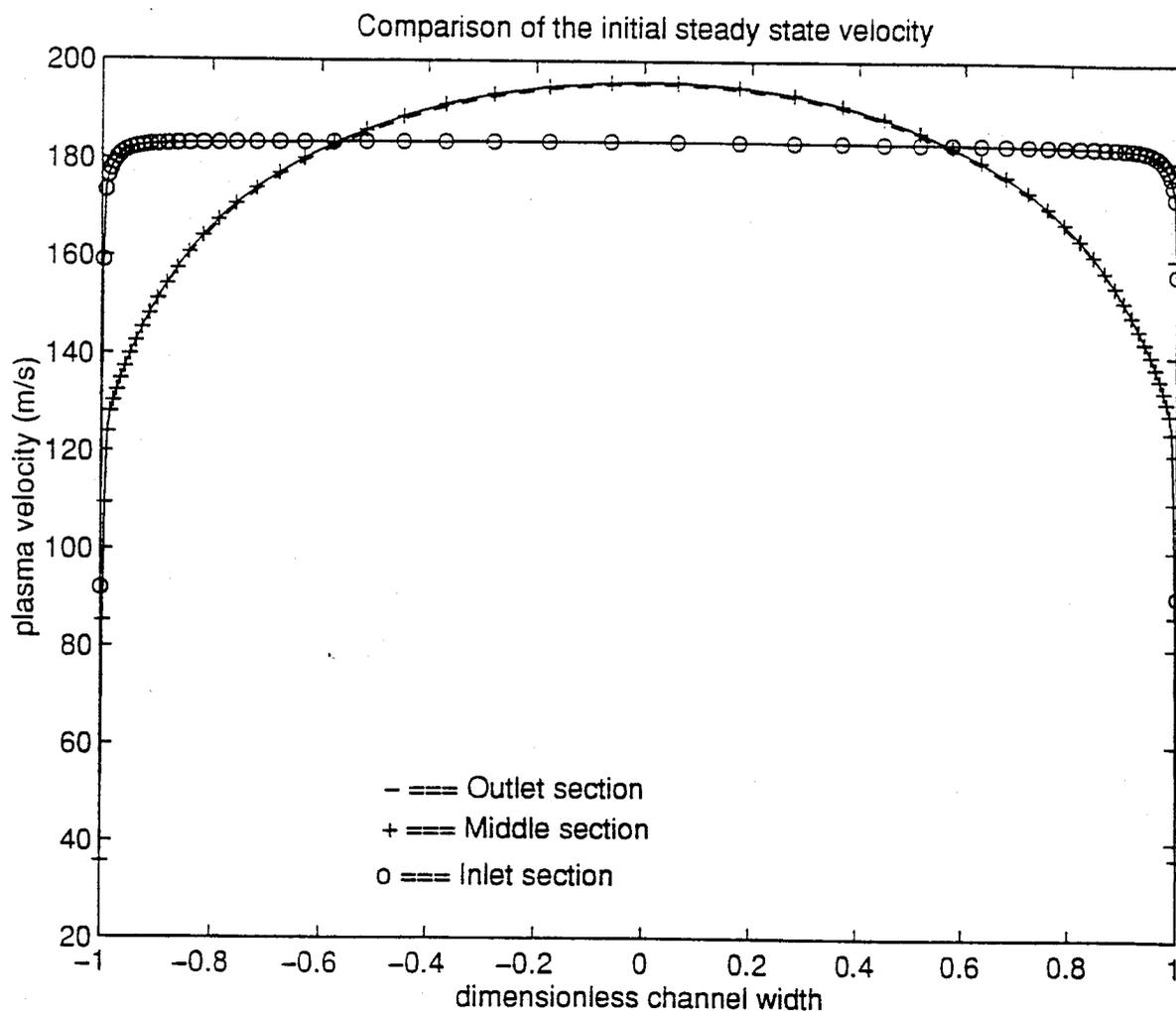


Fig. 6.3.4 - Evoluzione del profilo di velocità lungo la direzione x del condotto a $t=0$ -

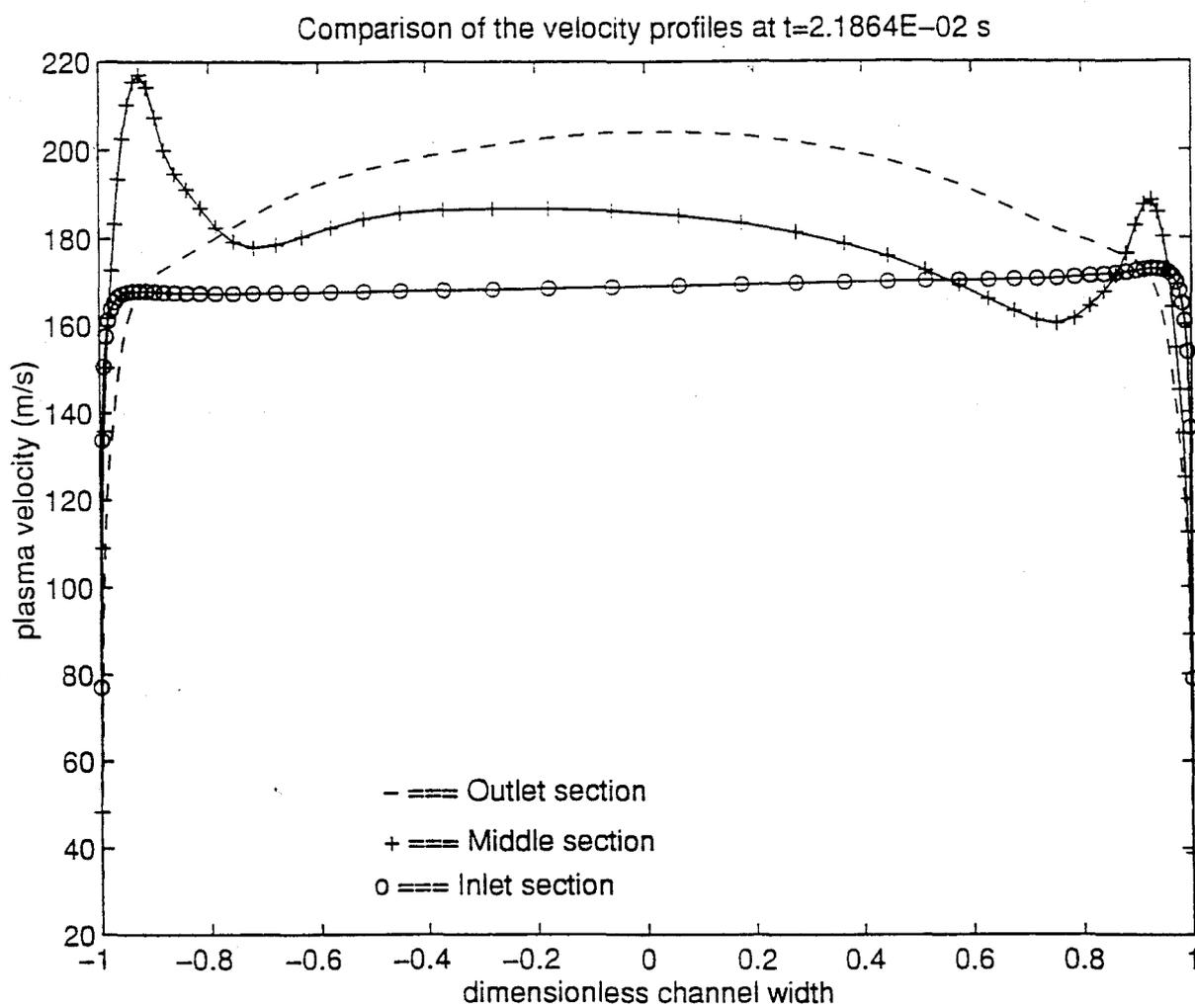


Fig. 6.3.5 - Evoluzione del profilo di velocità lungo la direzione x del condotto a 22 millisecondi dall'inizio del transitorio di corto circuito

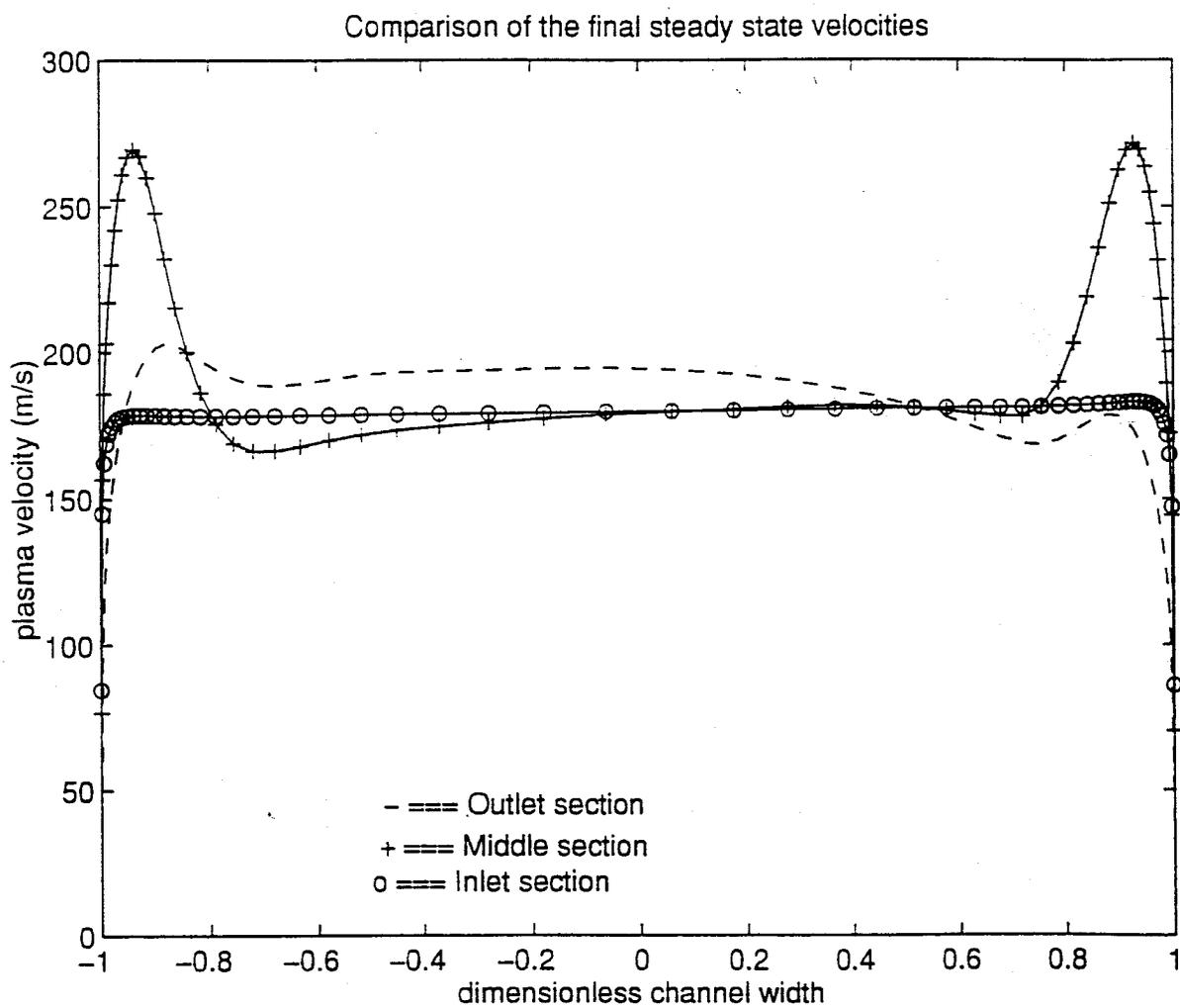


Fig. 6.3.6 - Evoluzione del profilo di velocità lungo la direzione x del canale a nuovo regime stazionario raggiunto (dopo 34 millisecondi dall'inizio del transitorio)

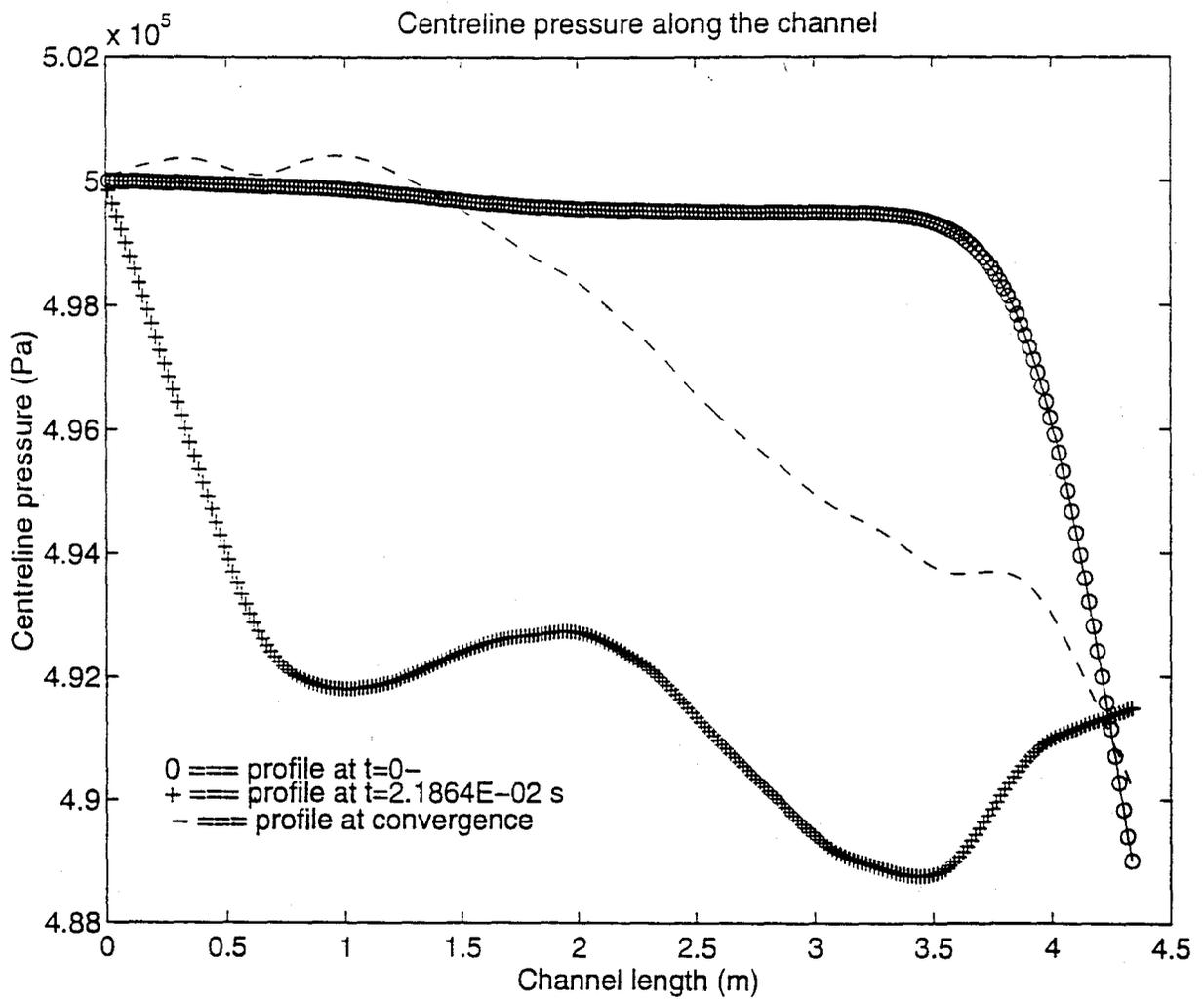


Fig. 6.3.7 - Evoluzione dell'andamento della pressione alla parete rispetto ad x durante il transitorio di corto circuito

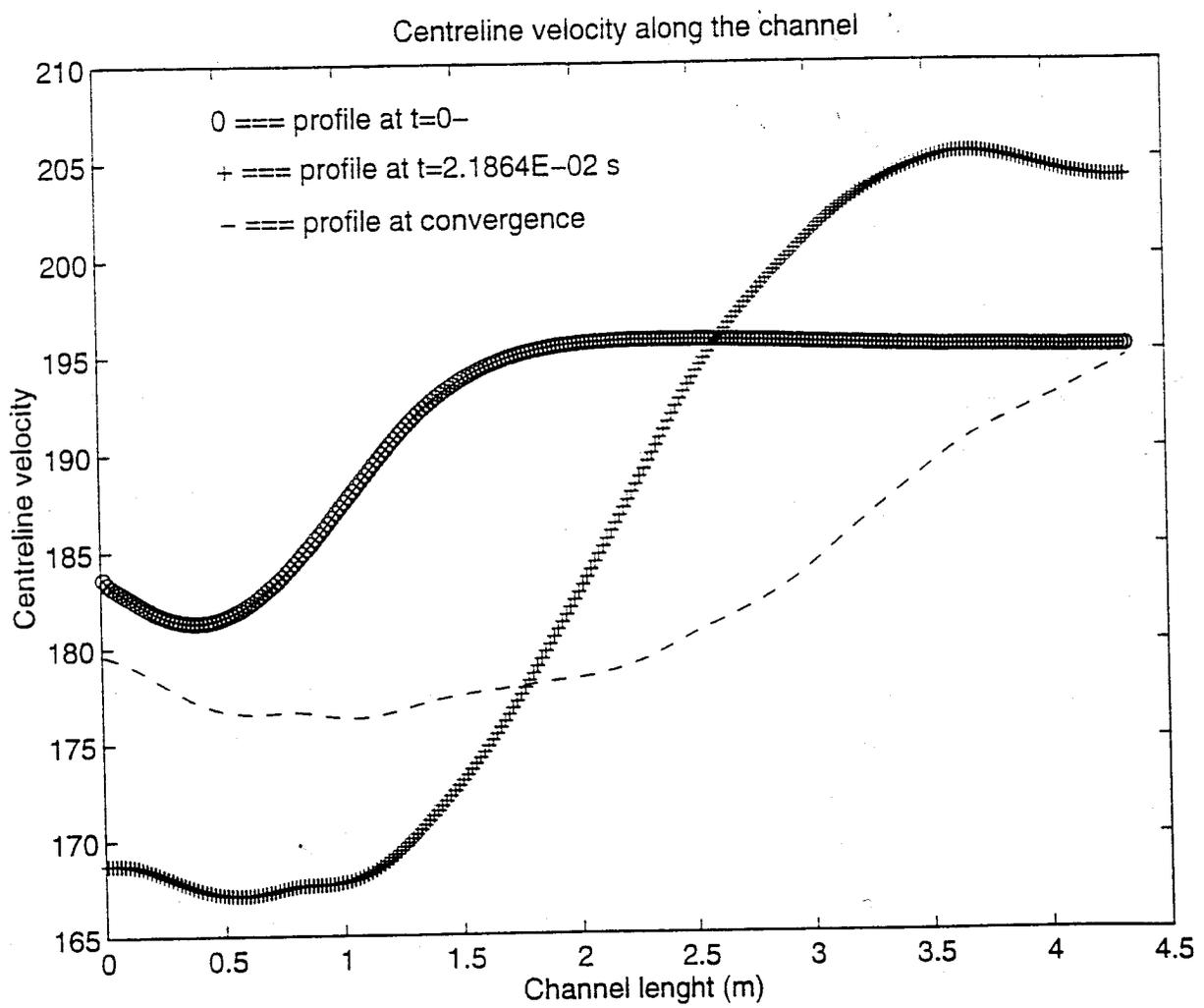


Fig. 6.3.8 - Evoluzione dell'andamento della componente u della velocità al centro del canale rispetto ad x , durante il transitorio di corto circuito

Dalle Figg. 6.3.1, 6.3.2 e 6.3.3 si puo' notare come il profilo di velocita' si sviluppi nel tempo, nelle diverse sezioni del canale, seguendo gli andamenti delle grandezze elettromagnetiche nelle medesime sezioni (andamenti riportati nelle Figg. 6.2.1, 6.2.2 e 6.2.3). La Fig. 6.3.4 dimostra come il regime di moto puramente fluidodinamico del fluido operatore sia ben descritto dal modello numerico: nella sezione di ingresso il profilo e' piatto, in quanto si e' entro la lunghezza di imbocco del canale; oltre la sezione centrale del canale si e' gia' in regime di flusso completamente sviluppato e la velocita' assume il profilo dato dalla (5.2.1), caratteristico di un moto turbolento. La distribuzione delle grandezze macroscopiche a $t=0^-$ e' stata ottenuta partendo da velocita' nulla su tutto il canale e raggiungendo lo stato stazionario previsto dal salto di pressione imposto fra ingresso ed uscita. Gli andamenti di Fig. 6.3.7 e di Fig. 6.3.8 trovano perfetto accordo coi profili di velocita' massima e pressione di parete riportati in letteratura per caratteristiche del fluido operatore e della geometria del condotto analoghe a quelle in esame[35,36].

Il secondo transitorio trattato consiste in un transitorio di accensione del generatore. Si considera a $t=0^-$ un campo di velocita' nullo su tutto il canale. Il transitorio trae avvio dall'imposizione di un salto di pressione fra ingresso ed uscita del condotto; si tiene conto della distribuzione delle grandezze elettromagnetiche prevista per un fattore di carico pari a $k=0.5$. Il transitorio ha una durata di circa 10 millisecondi e la simulazione ha richiesto circa 1.40 h di CPU time di una Alpha Digital.

Le Figg. 6.3.9, 6.3.10 e 6.3.11 descrivono l'evolversi del profilo della componente u di velocita' durante il transitorio, nelle tre diverse sezioni di controllo del condotto: sezione di ingresso, sezione centrale e sezione di uscita. Le Figg. 6.3.12, 6.3.13 e 6.3.14 descrivono l'evolversi del profilo della componente u della velocita', in tre successivi istanti di tempo, lungo l'asse del canale. Le figure 6.3.15 e 6.3.16 descrivono l'evolversi dell'andamento, rispettivamente, della pressione alla parete e della velocita' al centro del canale rispetto ad x , durante il transitorio.

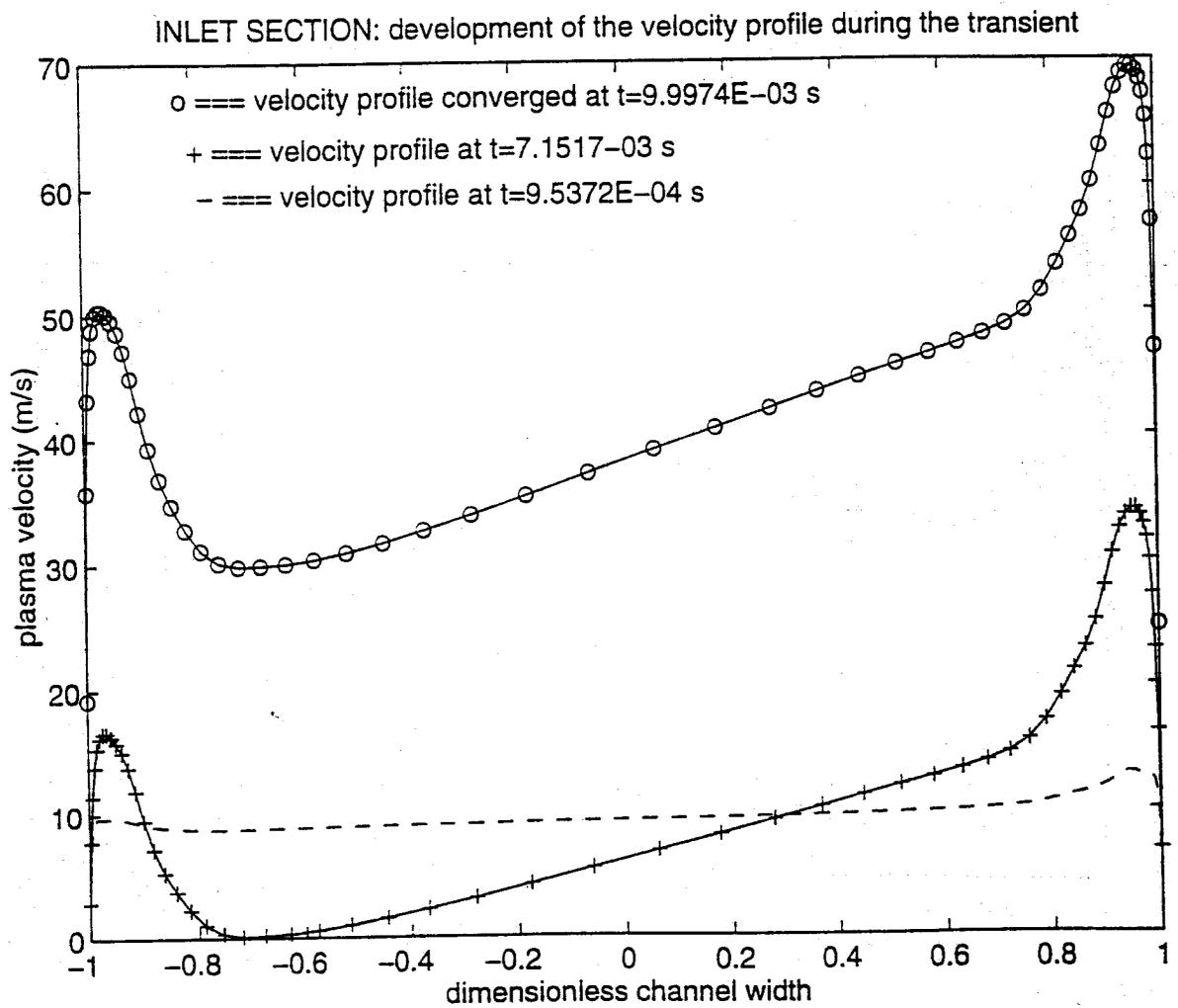


Fig. 6.3.9 - Evoluzione del profilo di velocità nella sezione di ingresso durante il transitorio di avviamento del generatore

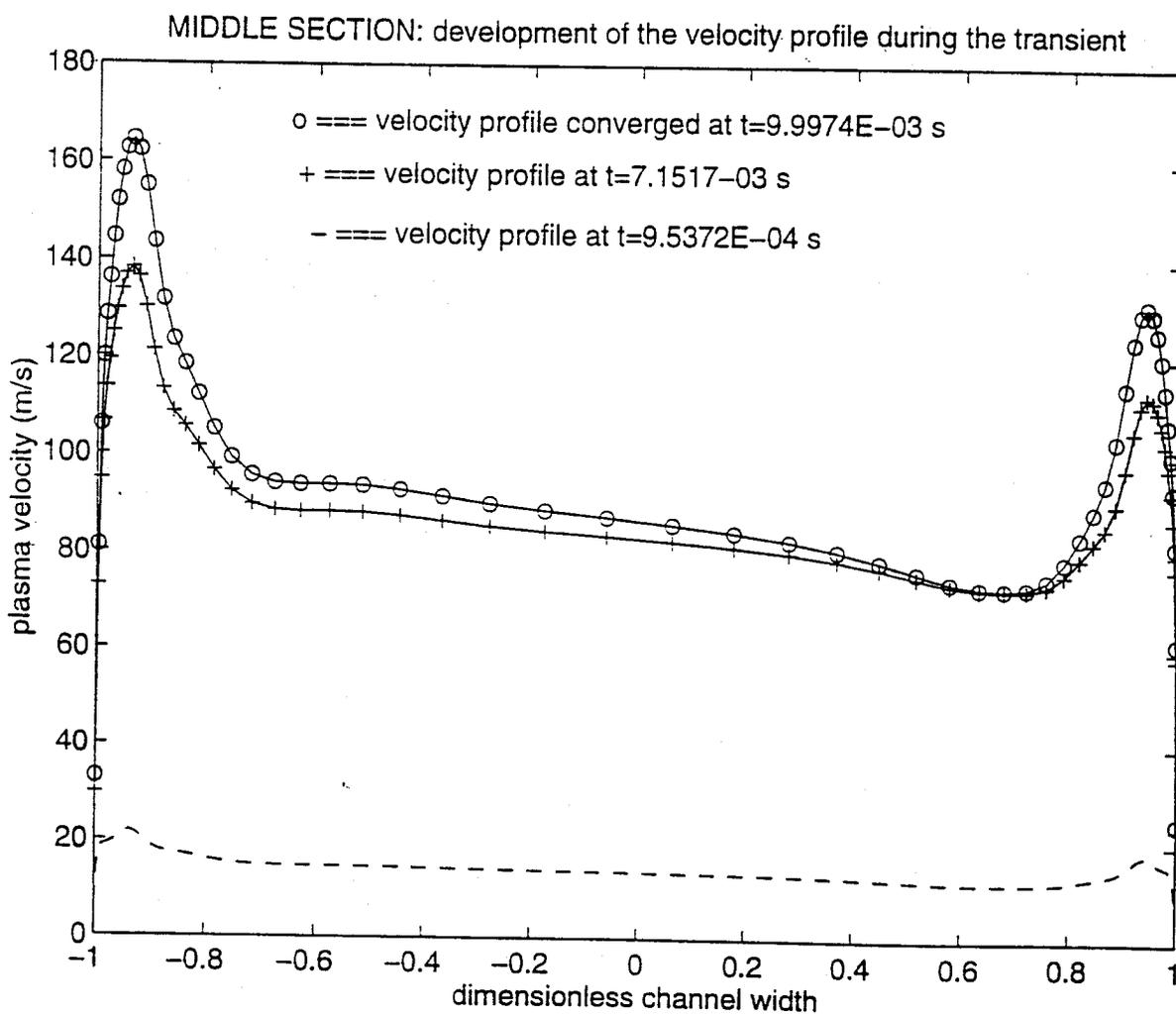


Fig. 6.3.10 - *Evoluzione del profilo di velocità nella sezione centrale durante il transitorio di avviamento del generatore*

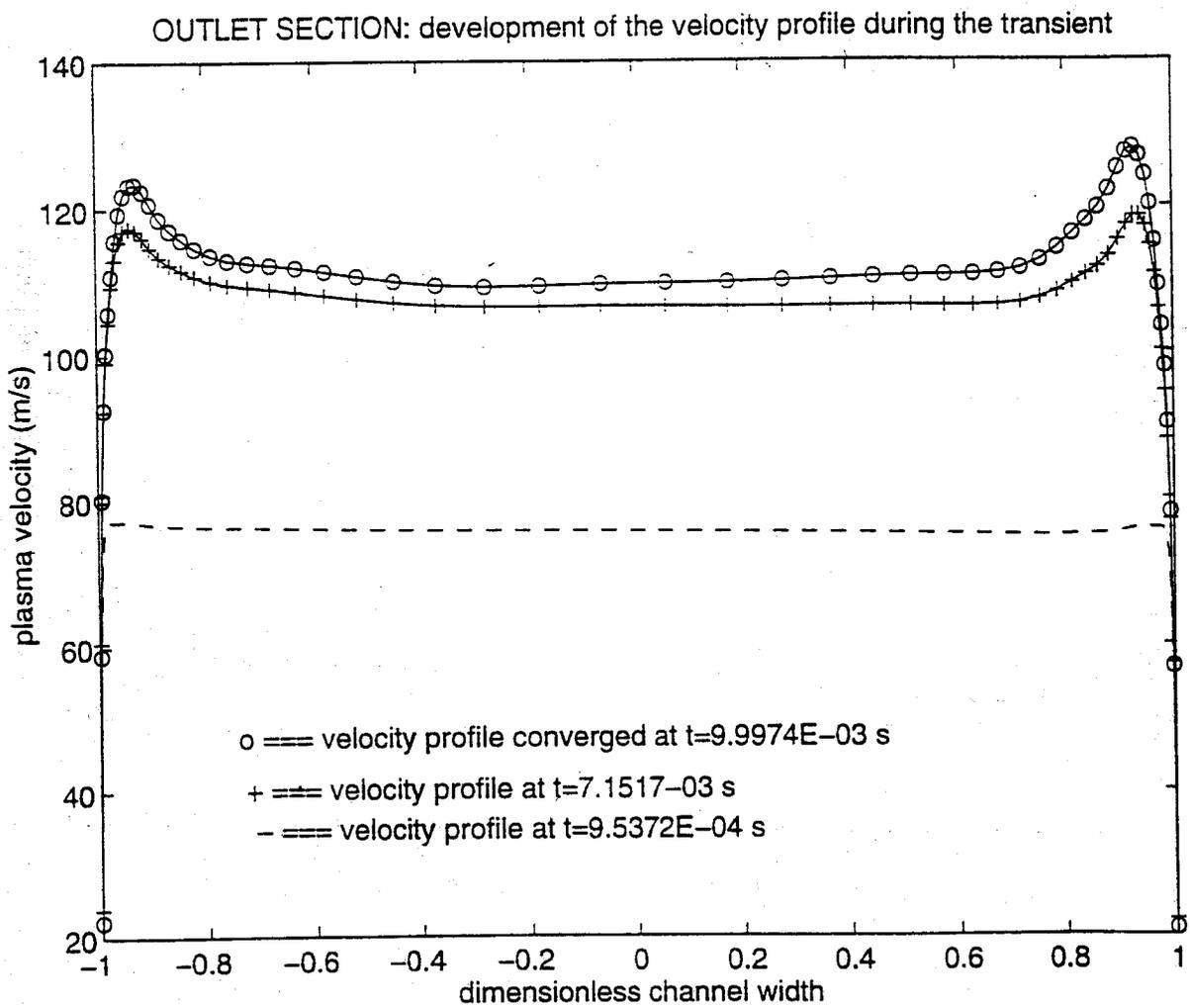


Fig. 6.3.11 - Evoluzione del profilo di velocità nella sezione di uscita durante il transitorio di avviamento del generatore

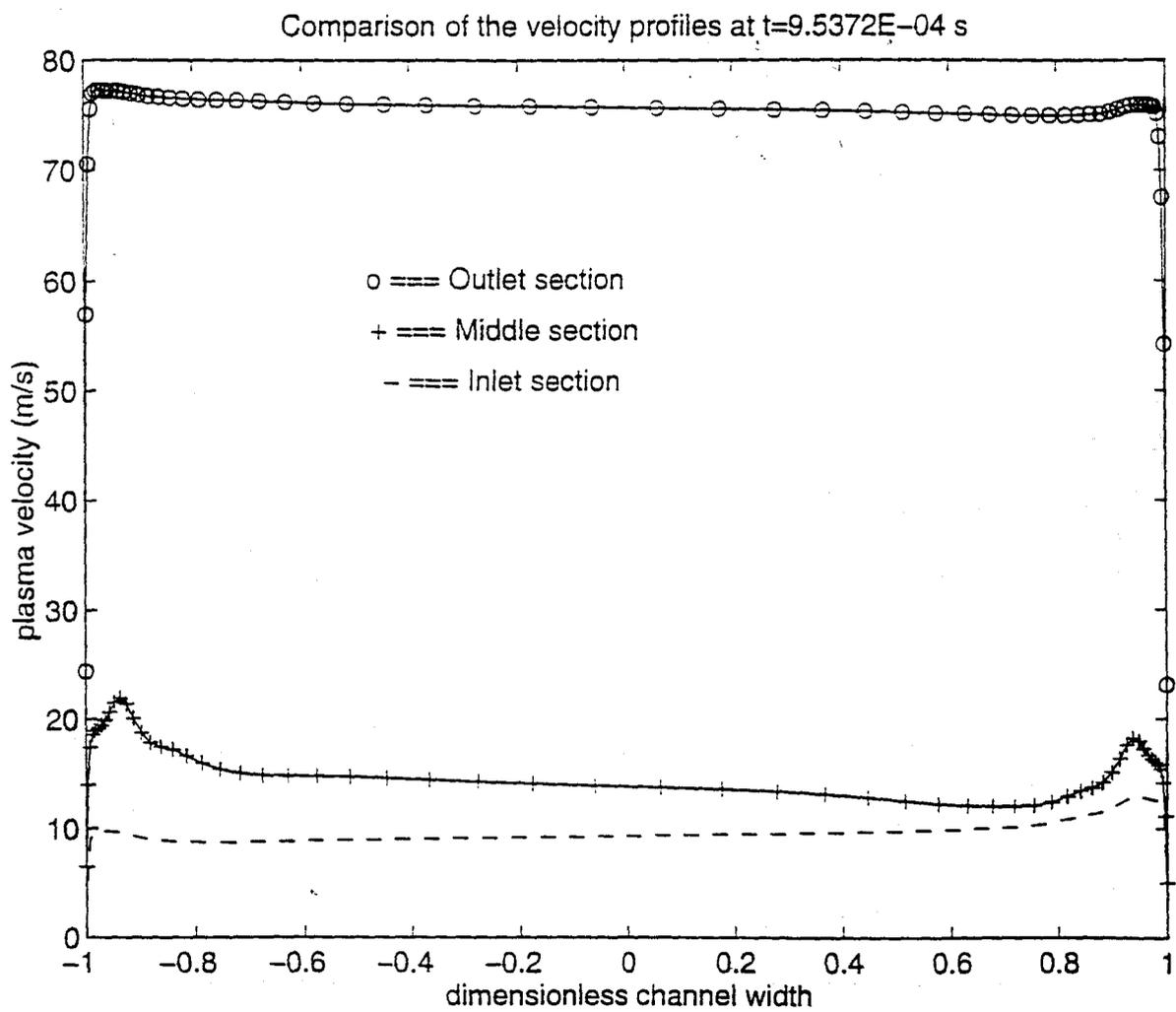


Fig. 6.3.12 - Evoluzione del profilo di velocità lungo la direzione x del canale a 0.954 millisecondi

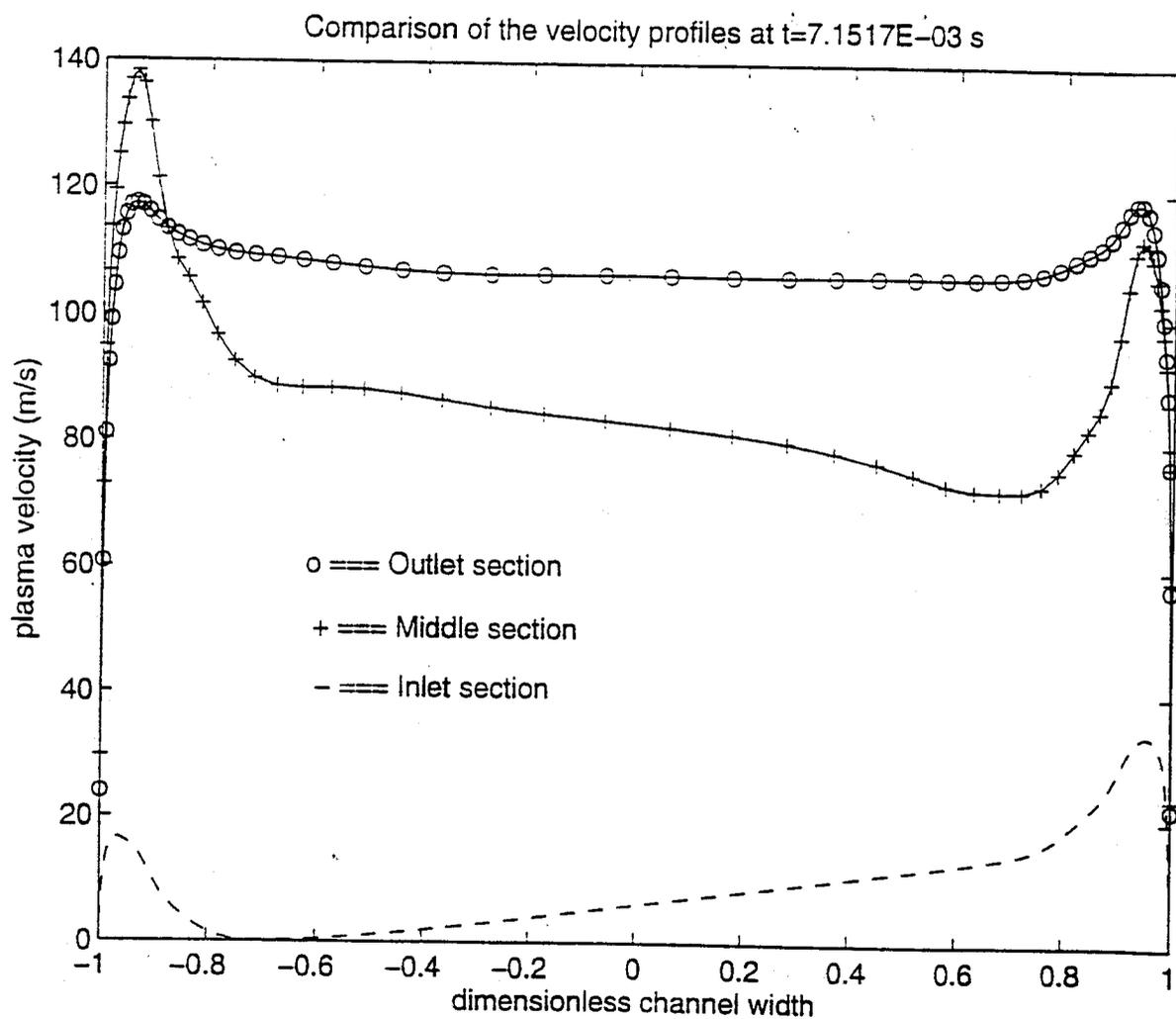


Fig. 6.3.13 - Evoluzione del profilo di velocità lungo la direzione x del canale a 7.15 millisecondi dall'inizio del transitorio di avviamento del generatore

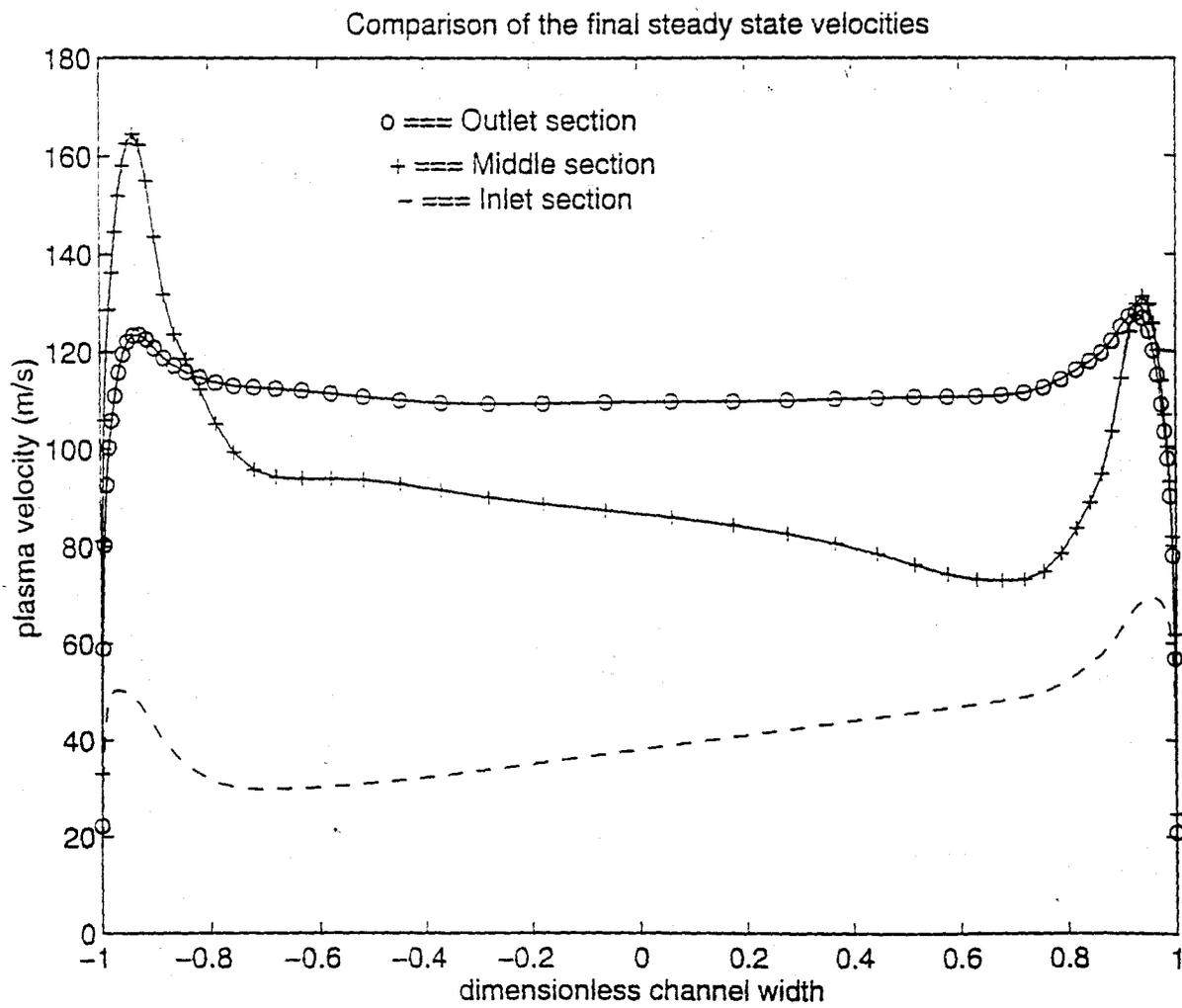


Fig. 6.3.14 - Evoluzione del profilo di velocità lungo la direzione x del canale a raggiunto regime stazionario (dopo 10 millisecondi dall'inizio del transitorio)

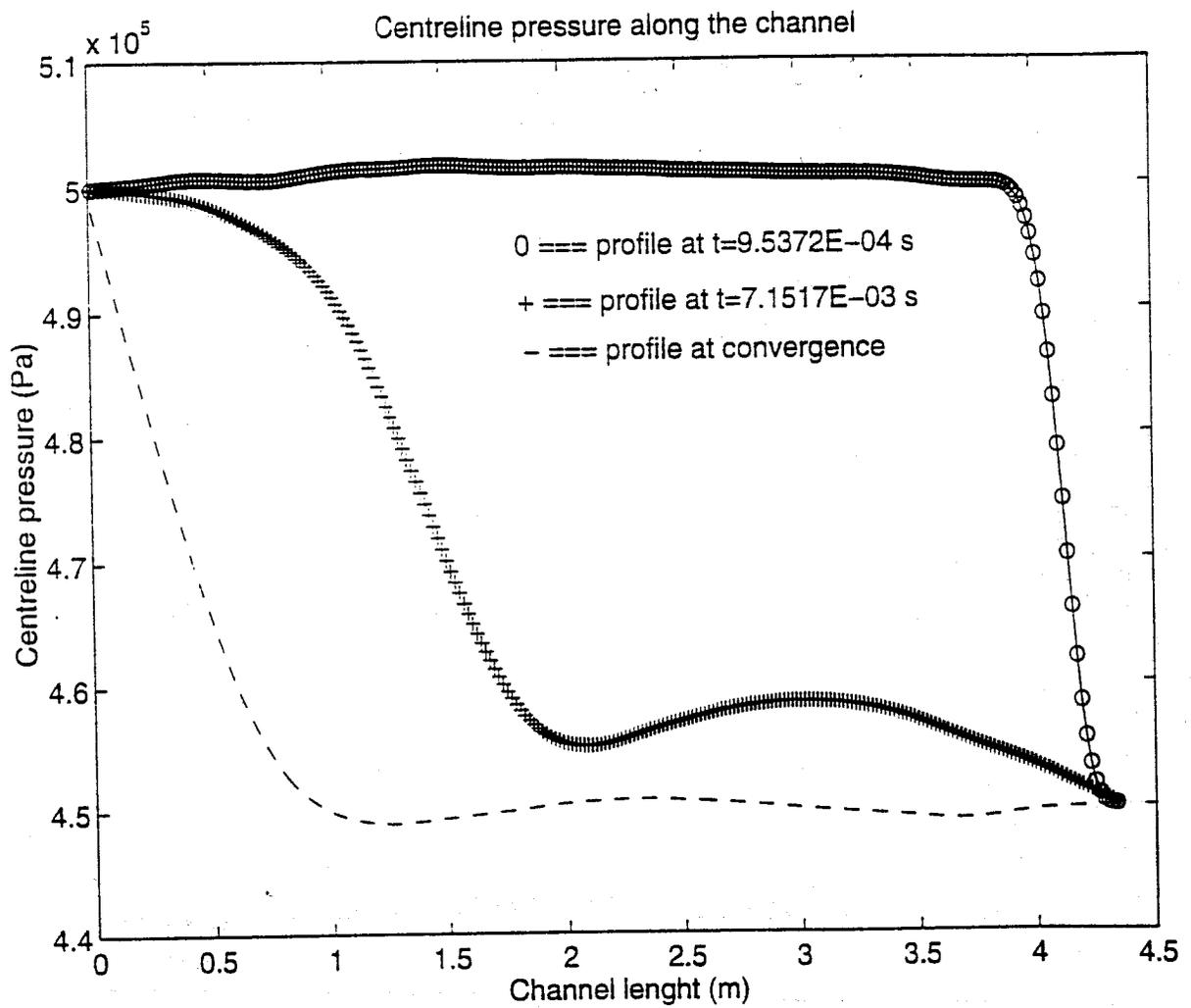


Fig. 6.3.15 - Evoluzione dell'andamento della pressione alla parete rispetto ad x durante il transitorio avviamento del generatore

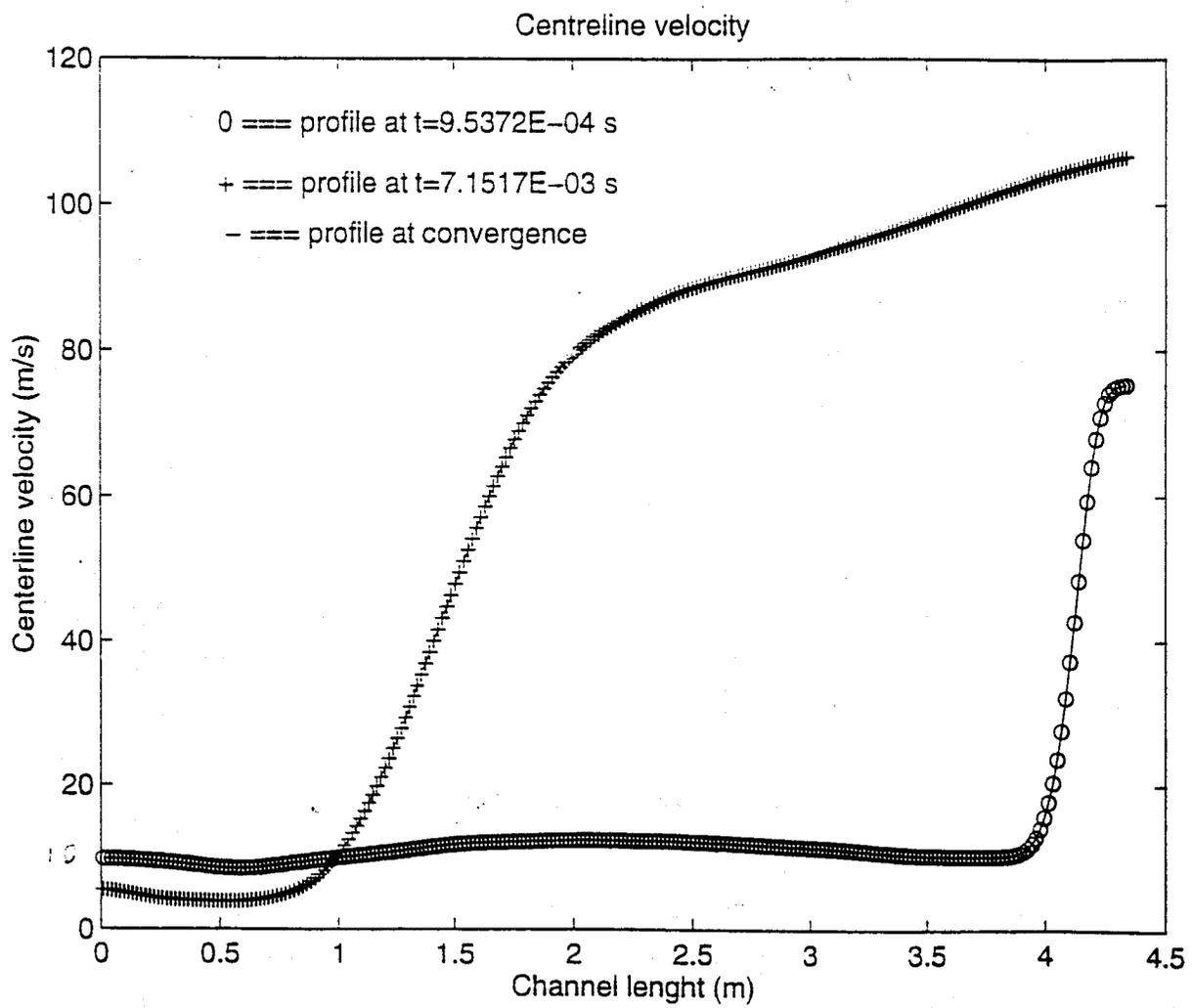


Fig. 6.3.16 - Evoluzione dell'andamento della velocità u al centro del canale rispetto ad x durante il transitorio di avviamento del generatore

Il terzo caso di transitorio analizzato, detto "transitorio di circuito aperto", consiste nello scollegamento istantaneo del generatore dal carico: il generatore passa da un fattore di carico ottimale $k=0.5$ ad un fattore di carico $k=1$. A $t=0^-$, istante precedente l'innesco del fenomeno transitorio, le grandezze macroscopiche, su tutto il canale, hanno l'andamento ottenuto a raggiunto regime stazionario, a conclusione del transitorio avviamento: velocità, pressione, temperatura e densità presentano i profili descritti dalle Figg. 6.3.9, 6.3.10, 6.3.11, 6.3.12, 6.3.13, 6.3.14, 6.3.15 e 6.3.16. Il transitorio ha inizio imponendo una distribuzione nulla delle grandezze elettromagnetiche, campo elettrico e densità di corrente, su tutto il condotto.

Le Figg. 6.3.17, 6.3.18 e 6.3.19 descrivono l'evolversi del profilo della componente u della velocità, nelle tre sezioni di controllo del canale, durante il fenomeno transitorio; la Fig. 6.3.20 descrive l'evolversi del profilo della componente u della velocità rispetto all'asse x a raggiunto regime di moto stazionario; le Figg. 6.3.21 e 6.3.22 descrivono l'evolversi, nel corso del fenomeno transitorio, dell'andamento rispetto ad x , rispettivamente, della pressione di parete e della velocità al centro del canale.

Il transitorio ha una durata di circa 40 millisecondi e la simulazione ha richiesto circa 2 h e 40 minuti di CPU time di una Alpha Digital.

La Fig. 6.3.20 risulta essere particolarmente interessante, in quanto dimostra come, una volta poste uguali a zero le grandezze elettromagnetiche in gioco, i profili di velocità assumono l'andamento tipico del regime di moto puramente fluidodinamico, completamente sviluppato oltre la regione di imbocco del canale.

Dalla Fig. 6.3.22 si può desumere quanto il flusso di plasma entro il canale MHD acceleri in seguito allo scollegamento del generatore dal carico.

Come già detto in precedenza, il metodo di MacCormack implicito non consente l'analisi di transitori quando il numero di Reynolds del flusso di plasma entro il canale è molto elevato. Come già detto al capitolo 5, per effetto della viscosità artificiale caratterizzante il modello numerico, si può utilizzare il metodo di MacCormack implicito che risolve le sole equazioni di Eulero per l'analisi di un fenomeno transitorio.

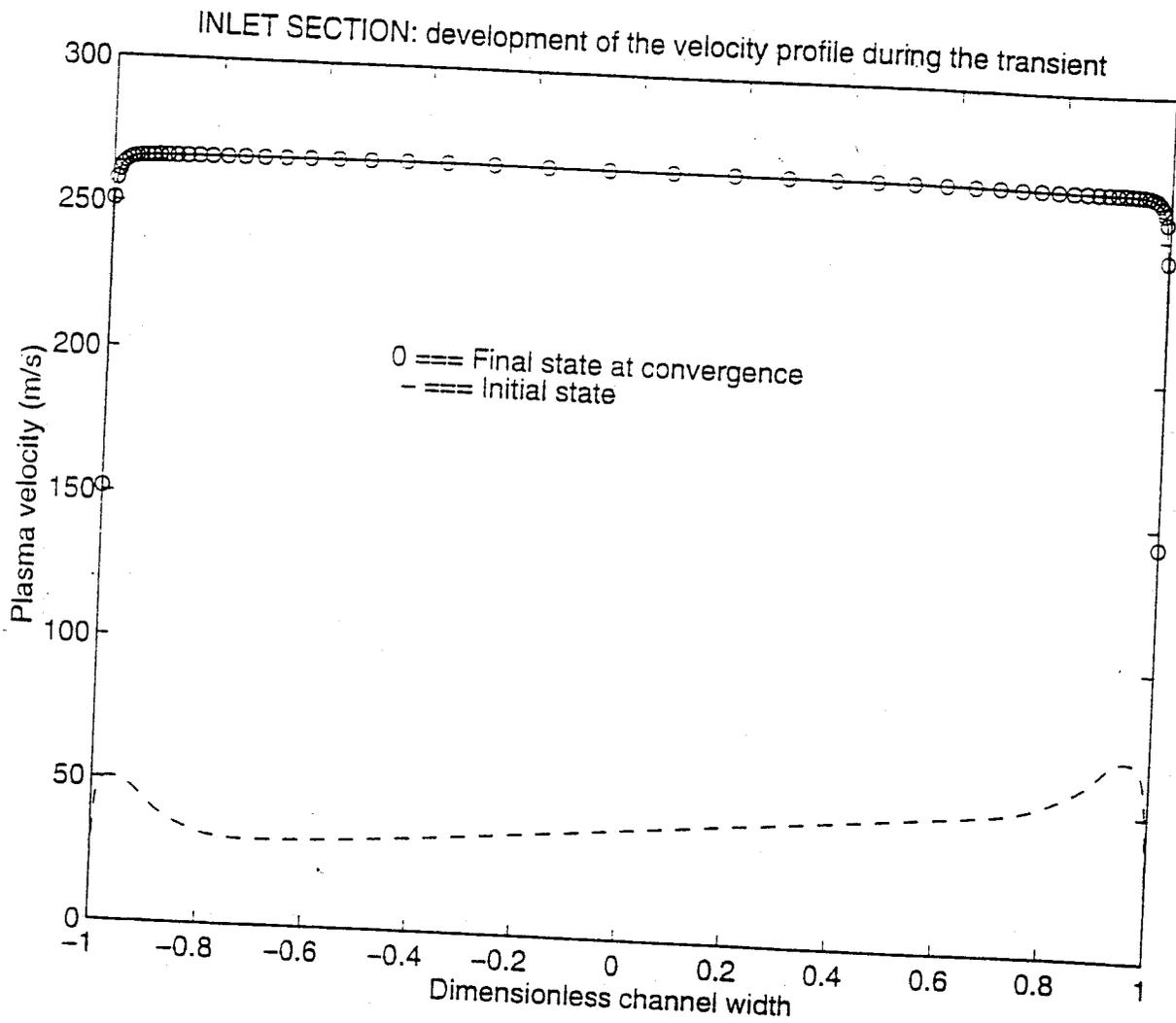


Fig. 6.3.17 - Evoluzione del profilo di velocità nella sezione di ingresso durante il transitorio di circuito aperto

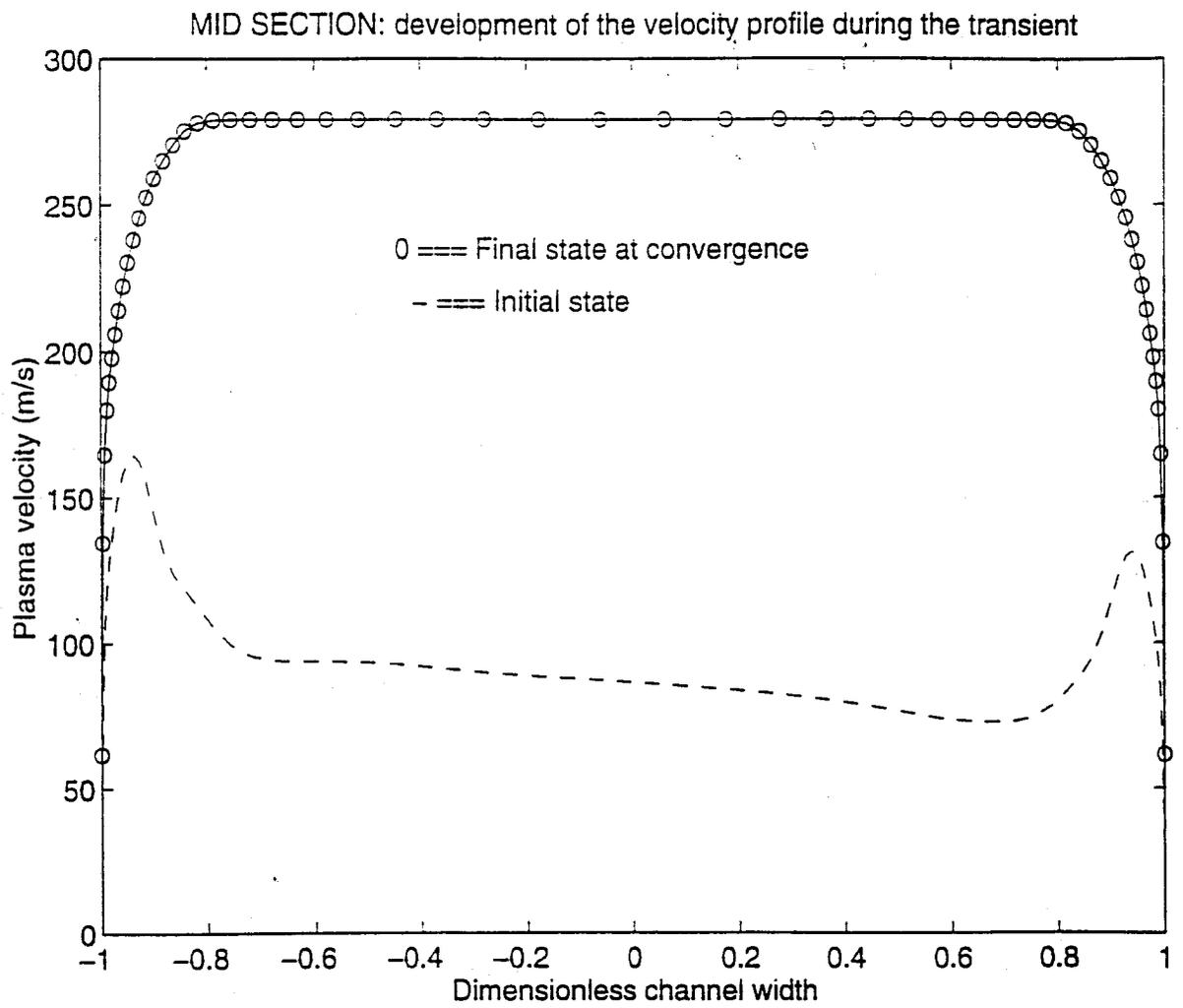


Fig. 6.3.18 - *Evoluzione del profilo di velocità nella sezione centrale durante il transitorio di circuito aperto*

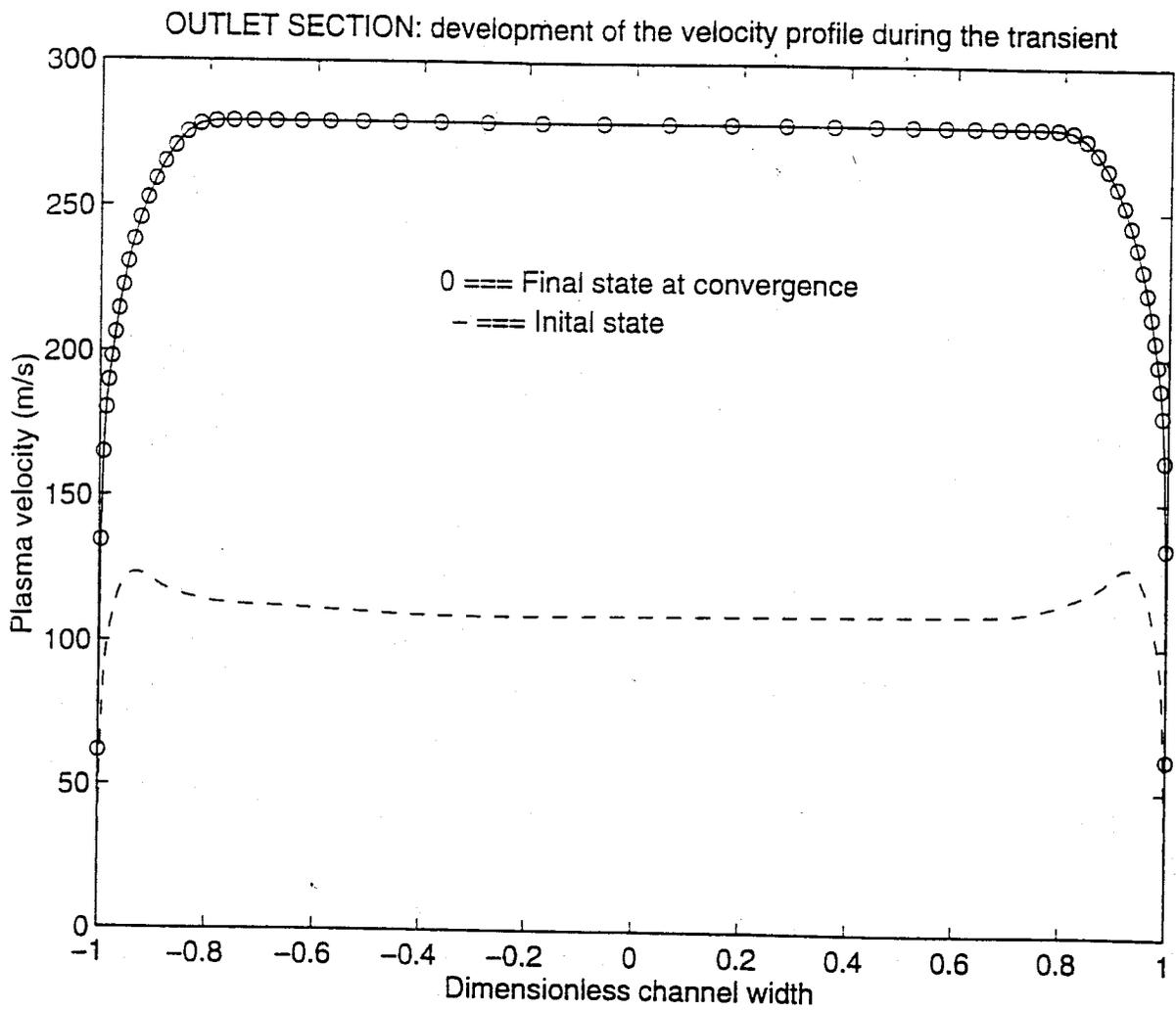


Fig. 6.3.19 - *Evoluzione del profilo di velocità nella sezione di uscita durante il transitorio di circuito aperto*

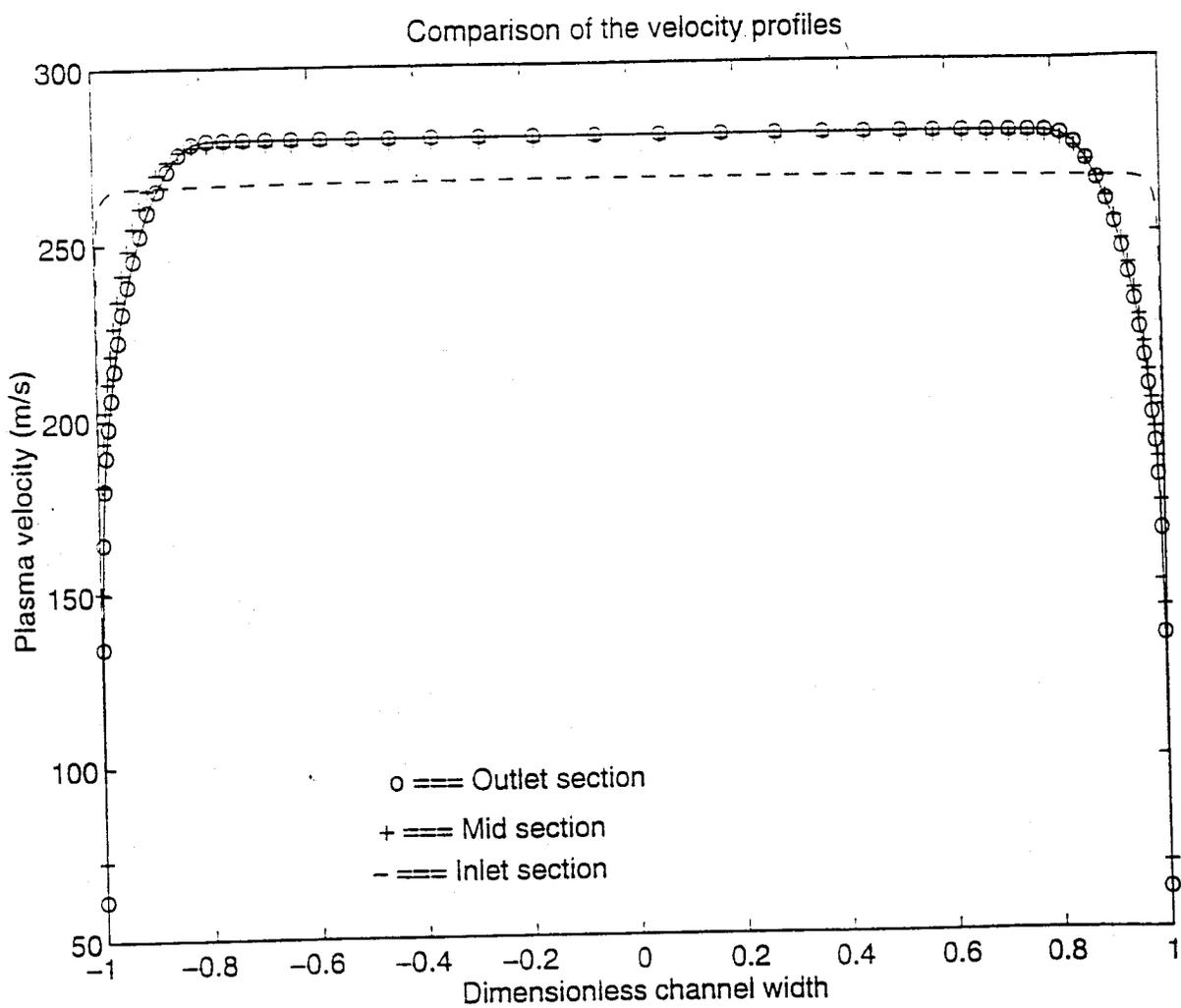


Fig. 6.3.20 - Evoluzione del profilo di velocità lungo la direzione x del canale a raggiunto regime di moto stazionario

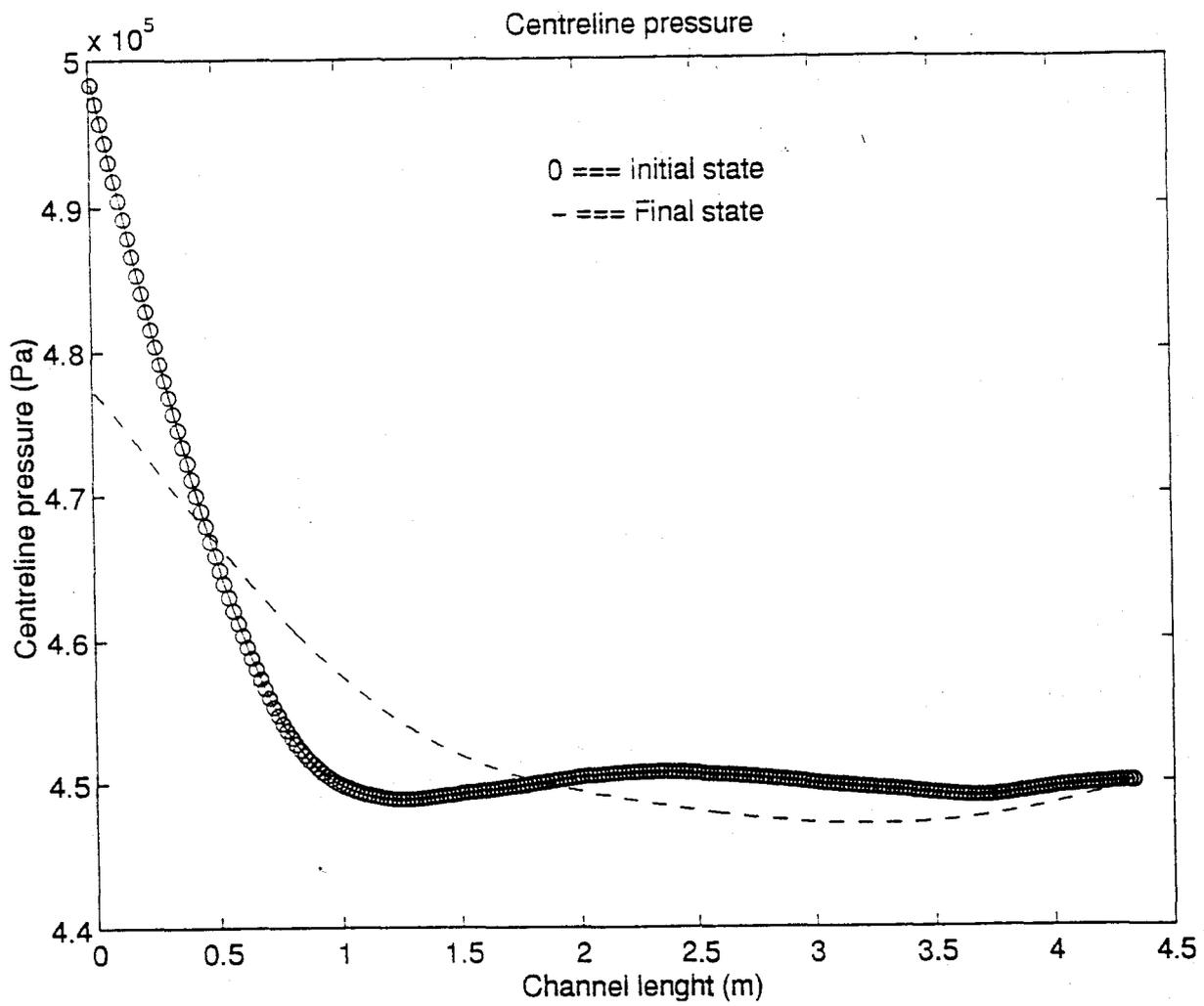


Fig. 6.3.21 - Evoluzione dell'andamento della pressione alla parete rispetto ad x durante il transitorio di circuito aperto

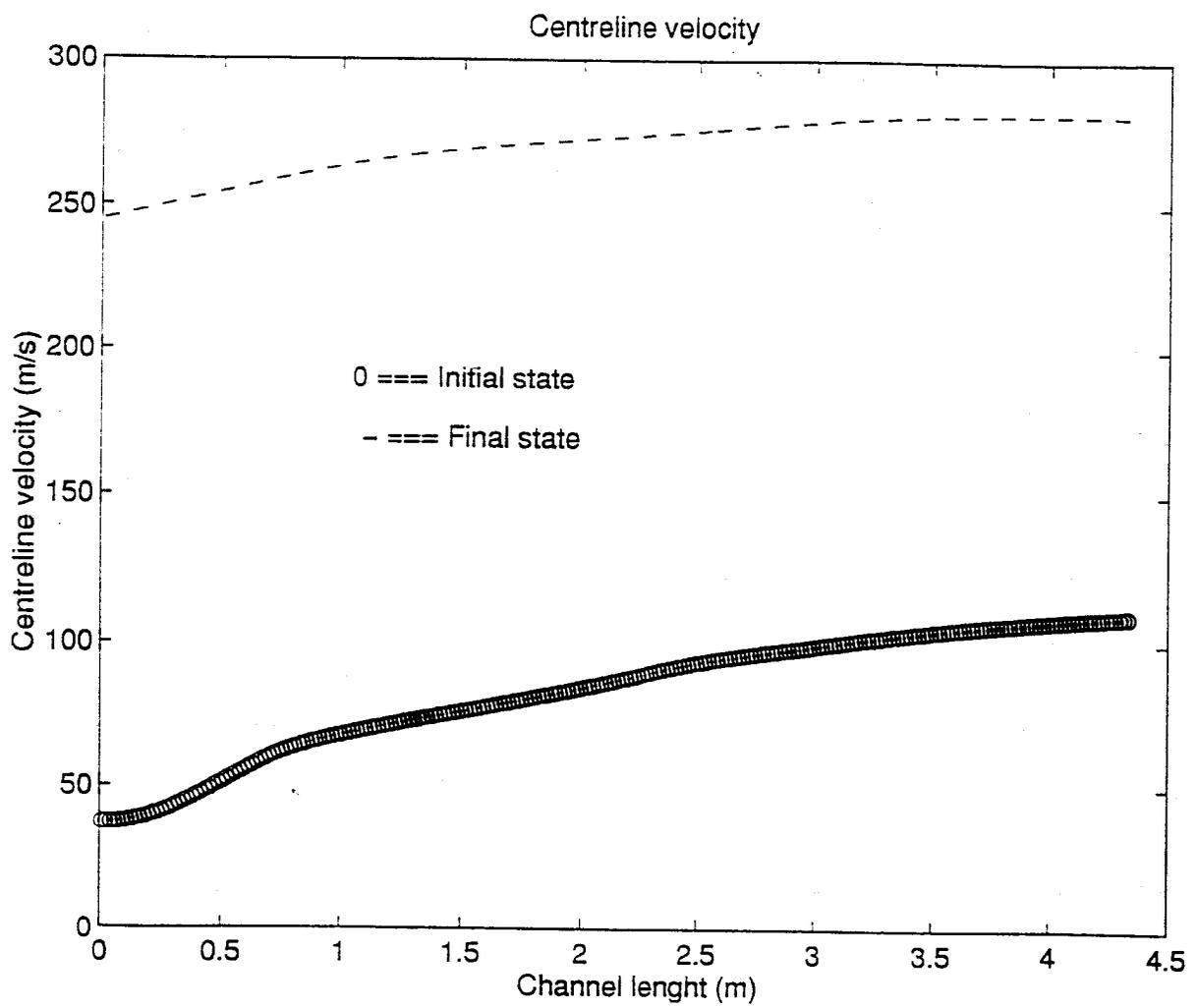


Fig. 6.3.22 - Evoluzione dell'andamento della velocità u al centro del canale rispetto ad x durante il transitorio di circuito aperto

Il fatto di impiegare il metodo di MacCormack implicito che risolve le equazioni di Eulero anziché le equazioni di Navier-Stokes consente di contenere il rischio dell'insorgere di fenomeni di instabilità: gli effetti prodotti dalla viscosità fisica del plasma sull'andamento delle grandezze macroscopiche vengono ad essere simulati dalla presenza della viscosità numerica tipica del metodo. Per aumentare la viscosità artificiale si è fatto uso di una griglia diversa rispetto a quella usata nelle analisi di transitorio già illustrate: più infittita allo strato limite e meno infittita nella regione centrale del condotto. Partendo da una distribuzione di pressione, densità, velocità e temperatura corrispondente ad un regime di moto stazionario, e da una distribuzione delle grandezze elettromagnetiche nulla su tutto il canale, si è supposto di collegare istantaneamente il generatore al carico. Il fattore di carico considerato è quello ottimale $k=0.5$, che dà origine alla distribuzione di campo elettrico e densità di corrente già utilizzata nelle analisi precedenti. In questo caso il regime di moto, pur mantenendosi subsonico, presenta un numero di Reynolds più elevato rispetto ai casi di transitorio precedentemente studiati. In Fig. 6.3.23 è riportato l'andamento della velocità u nelle tre sezioni di controllo del canale all'istante $t=0^-$ di avvio del fenomeno transitorio; in Fig. 6.3.24 si possono osservare i profili della componente u della velocità nelle tre sezioni di controllo del canale a termine del transitorio. Il transitorio ha una durata di 10 millisecondi ed ha richiesto circa 1 h e 10 min di tempo di CPU di una Alpha Digital.

Raggiunto il nuovo regime di moto stazionario si è supposta una variazione del fattore di carico da $k=0.5$ a $k=1$. La Fig. 6.3.25 descrive l'evolversi, nell'arco della durata del transitorio, dell'andamento della pressione di parete rispetto all'asse x .

Dalla Fig. 6.3.24 si può desumere che gli andamenti ottenuti non si allontanano di molto da quelli della Fig. 6.3.6, tenendo conto della diversa griglia in cui è stato suddiviso il canale in questa seconda serie di simulazioni. La Fig. 6.3.25 è in tutto e per tutto analoga alla 6.3.7, a conferma della accuratezza dei due metodi impiegati. Il vantaggio di questo secondo metodo è certamente quello di consentire la simulazione di transitori anche nel caso in cui il plasma scorra entro il condotto a velocità molto elevate. Questo vantaggio, però, si ottiene a scapito dell'accuratezza della risoluzione dei profili delle grandezze macroscopiche se si desidera mantenere costante il numero di celle in cui il canale viene ad essere suddiviso e se, quindi, non si vuole aumentare l'onere computazionale che è necessario sostenere per eseguire l'indagine di transitorio. Ciò risulta evidente dal confronto fra la Fig. 6.3.24 e la Fig. 6.3.6.

Regime di moto stazionario a $t=0$: confronto fra i profili di velocità u nelle tre diverse sezioni di controllo

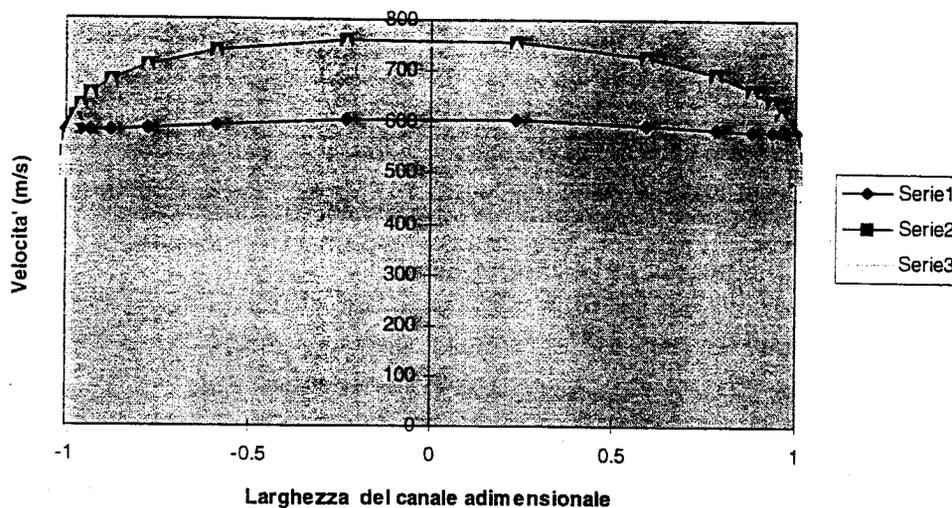


Fig. 6.3.23 - *Serie 1 - profilo di velocità nella sezione di ingresso del canale*
Serie 2 - profilo di velocità nella sezione centrale del canale
Serie 3 - profilo di velocità nella sezione di uscita del canale

Il metodo numerico ottenuto a partire dall'algoritmo di MacCormack implicito per la risoluzione delle equazioni di Navier- Stokes con modello della turbolenza di Baldwin-Lomax, come visto dalle analisi dei fenomeni transitori sopra descritti, da ottime garanzie di buona risoluzione degli andamenti delle grandezze macroscopiche entro gli strati limite e nelle regioni di ingresso ed uscita del canale. Anche l'onere computazionale da assumersi per eseguire l'indagine risulta contenuto, vista la natura implicita del metodo numerico. Resta, in conclusione aperto il problema della estensione del metodo ad applicazioni che prevedano numeri di Re superiori al 1000000. Si tratta di individuare ed implementare un "filtro" atto a separare gli errori numerici dal valore delle grandezze macroscopiche.

Regime stazionario al termine del transitorio: confronto fra i profili di velocita' nelle tre sezioni di controllo del canale

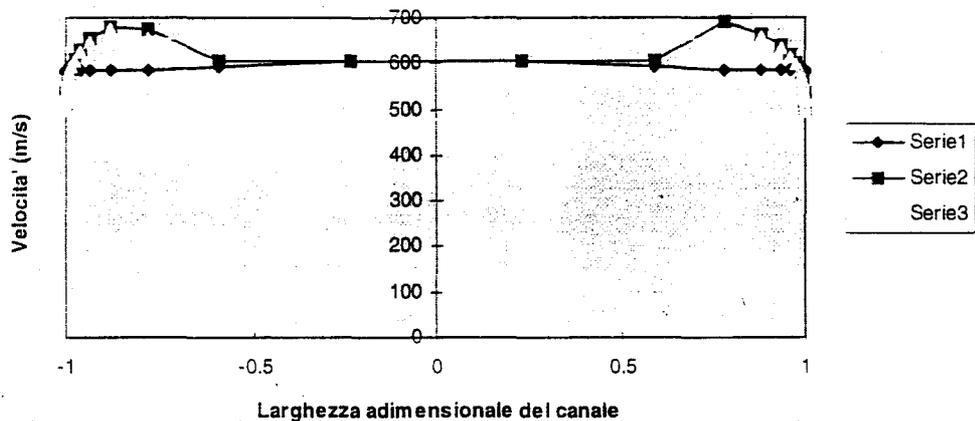


Fig. 6.3.24 - Serie1 - profilo nella sezione di ingresso del canale
 Serie2 - profilo nella sezione centrale del canale
 Serie3 - profilo nella sezione di uscita del canale

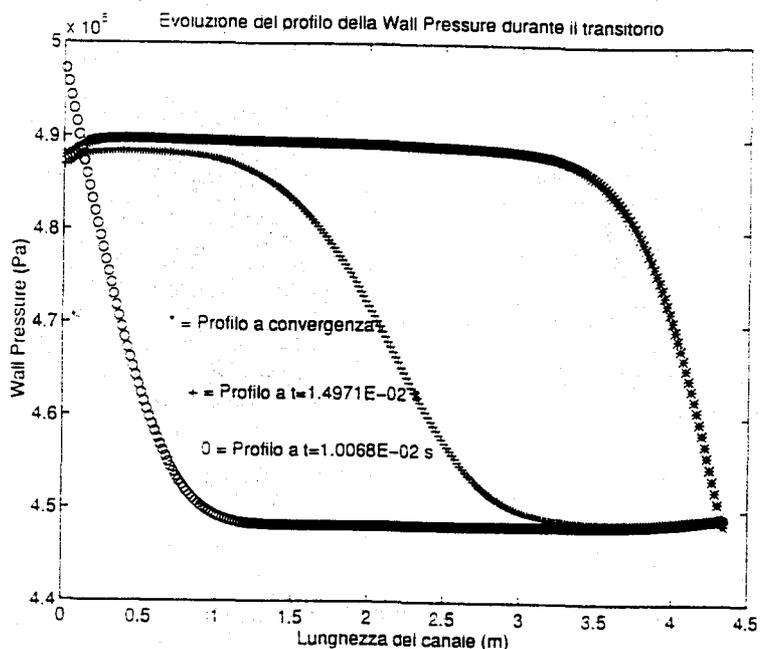


Fig. 6.3.25 - Evoluzione dell'andamento della pressione di parete rispetto alla coordinata x durante il transitorio di circuito aperto analizzato col metodo di MacCormack implicito per la risoluzione del sistema di equazioni di Eulero.

Facendo uso dell'algoritmo semi-implicito di Casulli e' stato analizzato un caso di transitorio di corto circuito in un canale avente le stesse caratteristiche geometriche e gli stessi parametri fondamentali di progetto del canale IA4 del generatore del CDIF, ma con lunghezza di 2 metri.

A partire da un regime di moto stazionario puramente fluidodinamico ($k=1$), a $t=0$ si pone il fattore di carico $k=0.5$. Le Figg. 6.3.26, 6.3.27, 6.3.28, 6.3.29 e 6.3.30, descrivono l'evolversi del profilo della componente u della velocita' nel tempo di durata del transitorio. Le Figg. 6.3.31 e 6.3.32 riportano l'evolversi del profilo della componente v della velocita' nell'arco di durata del medesimo fenomeno transitorio. In questo caso le sezioni di controllo del canale sono state scelte nel modo seguente : la prima sezione di controllo a 0.3 m dall'imbocco del condotto, la seconda sezione a 1 m e la terza sezione a 1.8 m.

Il transitorio ha una durata di 20 millisecondi ed ha richiesto 2 h di tempo di CPU di una HP Apollo 5000.

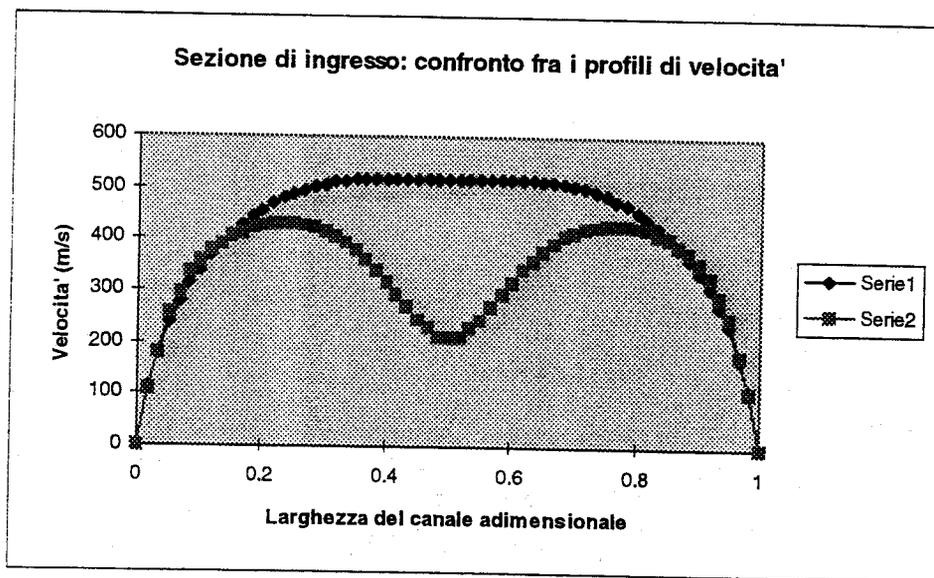


Fig. 6.3.26 - Evolversi del profilo di velocita' u nella sezione a $x=0.3$ m dall'ingresso del canale

Serie1: profilo di velocita' a $t=0$ -

Serie2: profilo di velocita' a 50 millisecondi

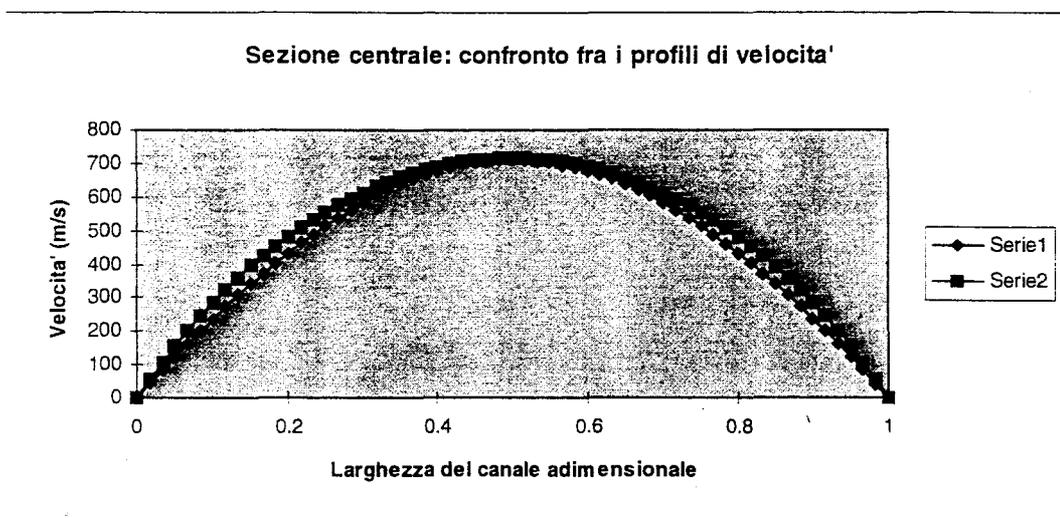


Fig. 6.3.27 - Evolversi del profilo di velocita' u nella sezione che a $x=1$ m dall'imbocco del canale.

Serie1: profilo di u a $t=0-$

Serie 2: profilo di u dopo 20 millisecondi

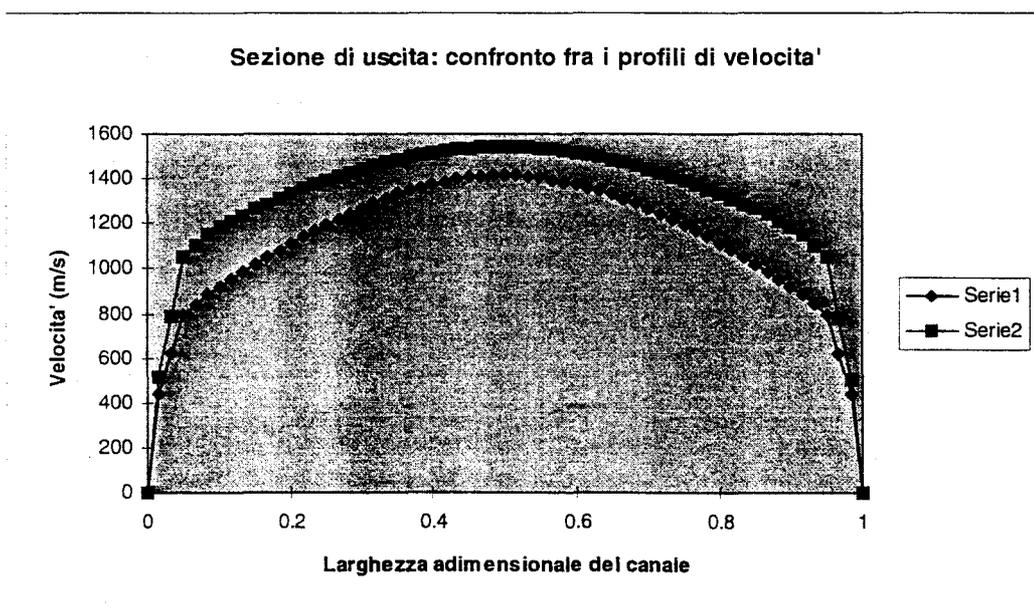


Fig. 6.3.28 - Evoluzione del profilo di velocita' nella sezione a $x = 1.8$ m dall'imbocco del canale.

Serie1: profilo di velocita' u a $t=0-$

Serie 2: profilo di velocita' u dopo 20 millisecondi

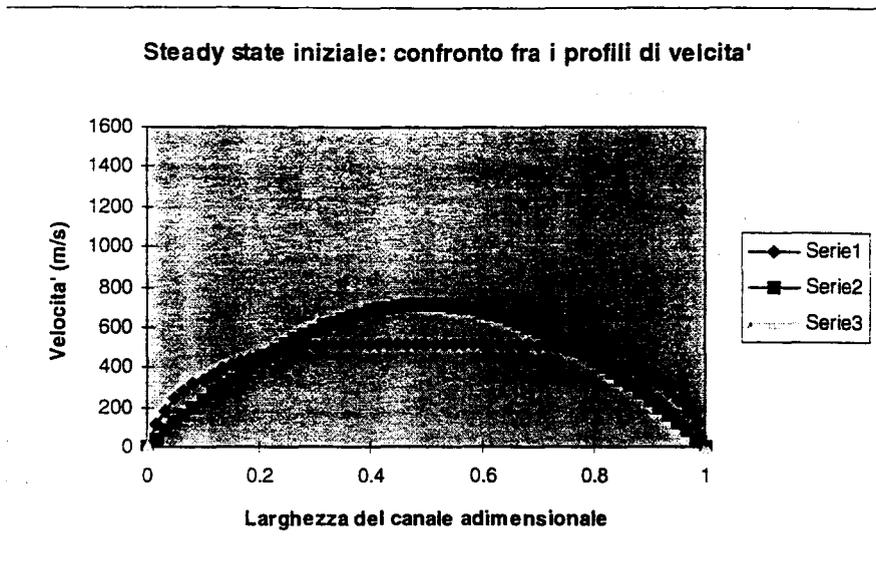


Fig. 6.3.29 - Confronto dei profili di velocita' u nelle tre sezioni di controllo a $t=0$ -

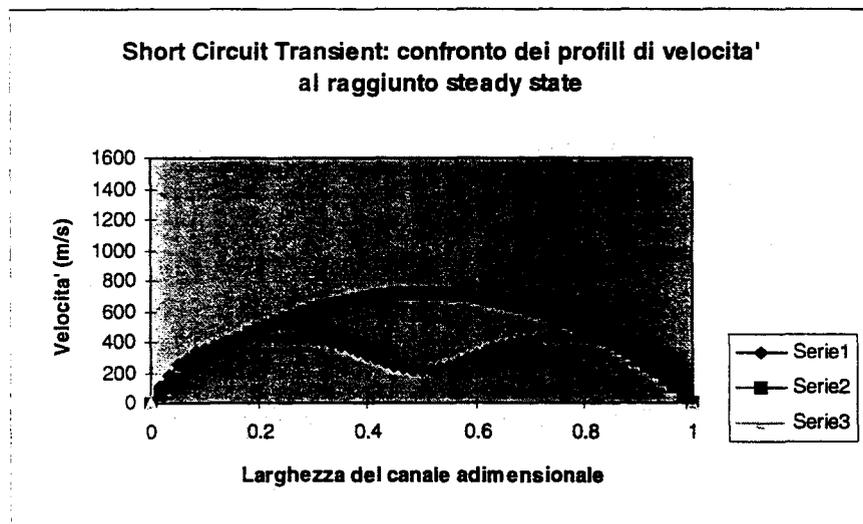


Fig. 6.3.30 - Confronto dei profili di velocita' u nelle tre sezioni di controllo dopo 20 millisecondi

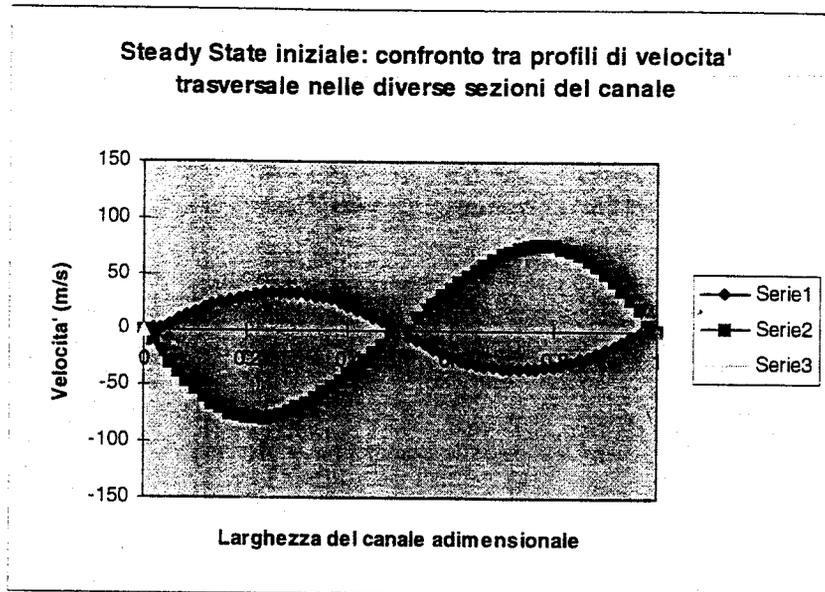


Fig. 6.3.31 - *Serie1: profilo nella sezione a $x=0.3$ m*
Serie2: profilo nella sezione a $x=1$ m
Serie3: profilo nella sezione a $x=1.8$ m

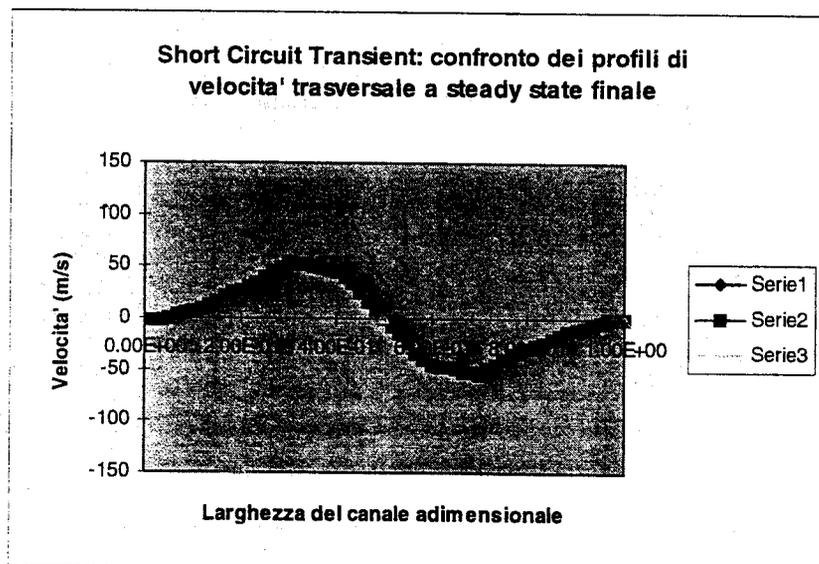


Fig. 6.3.32 - *Serie1: profilo nella sezione a $x=0.3$ m*
Serie2: profilo nella sezione a $x=1$ m
Serie3: profilo nella sezione a $x=1.8$ m

Le Figg. 6.3.33 e 6.3.34 descrivono l'evolversi, durante il transitorio, dell'andamento, rispettivamente, della pressione e della componente u della velocità rispetto all'asse x.

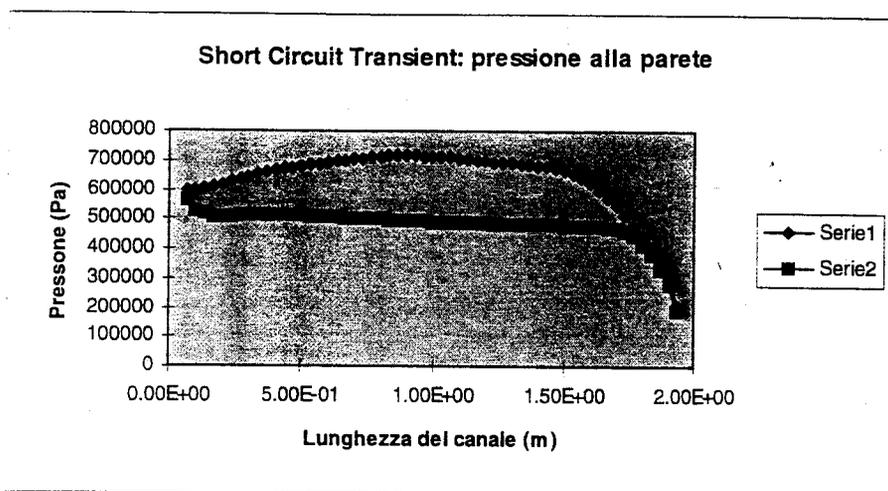


Fig. 6.3.33 - *Evolversi del profilo di pressione alla parete rispetto alla coordinata x durante il transitorio*

Serie1 - andamento della pressione rispetto ad x a t=0-

Serie2 - andamento della pressione rispetto ad x al termine del transitorio

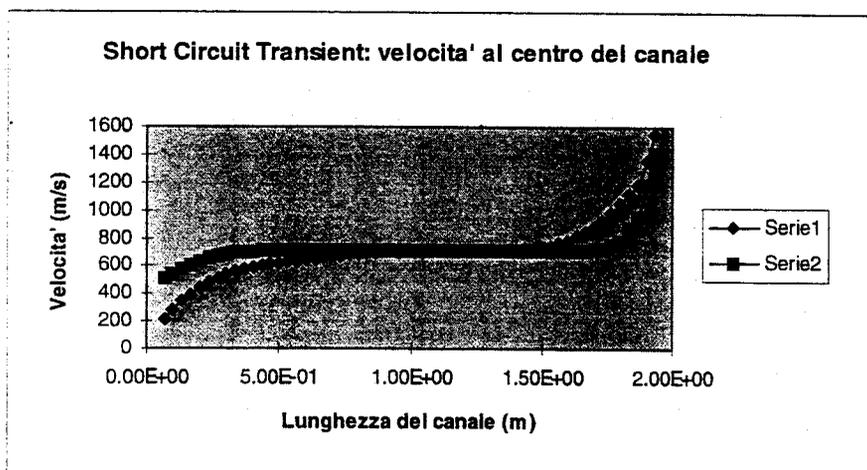


Fig. 6.3.33 - *Evolversi del profilo della velocità al centro del condotto rispetto alla coordinata x durante il transitorio*

Serie1 - andamento della pressione rispetto ad x a t=0-

Serie2 - andamento della pressione rispetto ad x al termine del transitorio