



1506
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI URBINO
CARLO BO

Relazione relativa al progetto d'esame di Programmazione Logica e Funzionale

sessione estiva — a.a. 2023/2024

Corso di Laurea in Informatica Applicata
Università di Urbino

STUDENTI:

Barzotti Nicolas
matricola: 313687
Ramagnano Gabriele
matricola: 315439

DOCENTE:

Marco Bernardo

Indice

1 Specifica del Problema	2
2 Analisi del Problema	3
2.1 Dati di Ingresso del Problema	3
2.2 Dati di Uscita del Problema	3
2.3 Relazioni Intercorrenti tra i Dati del Problema	3
3 Progettazione dell'Algoritmo	8
3.1 Scelte di Progetto	8
3.2 Passi dell'Algoritmo	8
4 Implementazione dell'algoritmo	11
4.1 Haskell	11
4.2 Prolog	17
5 Testing	25
5.1 Haskell	25
5.2 Prolog	39

1 Specifica del Problema

Scrivere un programma Haskell e un programma Prolog che, per ogni simulazione numerica da effettuare, acquisiscono da tastiera un insieme finito di parametri numerici e poi stampano su schermo il risultato del calcolo numerico. Per simulazione numerica intendiamo la simulazione di un processo fisico mediante calcolatore, ove con simulazione di un processo fisico si fa riferimento alla rappresentazione, eventualmente approssimata, di tale processo mediante la risoluzione di equazioni e modelli matematici al calcolatore¹. Le simulazioni numeriche coinvolte sono quattro: il moto fugoide senza attrito, il moto fugoide con attrito, il moto di convezione lineare a una dimensione di un'onda quadra e il moto convettivo e diffusivo a una dimensione di un'onda a dente di sega.

¹[https://www.treccani.it/enciclopedia/simulazioni-di-processi-fisici-mediante-calcolatore_\(Encyclopaedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/simulazioni-di-processi-fisici-mediante-calcolatore_(Encyclopaedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/)

2 Analisi del Problema

2.1 Dati di Ingresso del Problema

I dati in ingresso al problema sono stati suddivisi in base all'equazione da integrare numericamente, ne segue quindi la loro descrizione.

Moto Fugoide Senza Attrito

Il dato in ingresso è un numero reale maggiore di zero. Questo rappresenta il passo temporale per l'integrazione dell'equazione del moto fugoide senza attrito.

Moto Fugoide Con Attrito

Il dato in ingresso è un numero reale maggiore di zero. Questo rappresenta il passo temporale per l'integrazione dell'equazione del moto fugoide con attrito.

Moto di Convezione

I dati in ingresso per l'integrazione dell'equazione di convezione sono:

1. un numero naturale, rappresenta il numero di punti della funzione d'onda quadra;
2. un numero reale maggiore di zero, rappresenta la lunghezza del passo temporale.

Moto di Convezione e Diffusione (Burgers)

Il dato in ingresso per l'integrazione dell'equazione di Burgers (la quale viene utilizzata per risolvere il problema del moto di convezione e diffusione dell'onda) è un numero naturale. Questo rappresenta il numero di punti della funzione d'onda a dente di sega.

2.2 Dati di Uscita del Problema

Moto Fugoide Senza Attrito

Il dato in uscita dell'integrazione dell'equazione del moto fugoide senza attrito è una sequenza di numeri reali che rappresentano la funzione di traiettoria dell'areomobile.

Moto Fugoide Con Attrito

Il dato in uscita dell'integrazione dell'equazione del moto fugoide con attrito è una sequenza di numeri reali che rappresentano la funzione di traiettoria dell'areomobile.

Moto di Convezione

Il dato in uscita dell'integrazione dell'equazione di convezione lineare a una dimensione è una sequenza di numeri reali che rappresentano i valori finali della funzione d'onda quadra.

Moto di Convezione e Diffusione (Burgers)

Il dato in uscita all'integrazione dell'equazione di Burgers a una dimensione è una sequenza di numeri reali che rappresentano i valori finali della funzione a dente di sega.

2.3 Relazioni Intercorrenti tra i Dati del Problema

Moto Fugoide Senza Attrito

L'equazione per il moto di fugoide senza attrito è un'equazione differenziale ordinaria del secondo ordine:

$$z(t)'' = g - \frac{g z(t)}{z_t} = g \left(1 - \frac{z(t)}{z_t} \right). \quad (1)$$

Possiamo trasformare questa equazione del secondo ordine in un sistema di equazioni del primo ordine:

$$z'(t) = b(t) \quad (2)$$

$$b'(t) = g \left(1 - \frac{z(t)}{z_t} \right). \quad (3)$$

Un altro modo di considerare un sistema di due equazioni ordinarie del primo ordine è scrivere il sistema differenziale come un'unica equazione vettoriale:

$$\vec{u} = \begin{pmatrix} z \\ b \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\vec{u}'(t) = \begin{pmatrix} b \\ g - g \frac{z(t)}{z_t} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

La soluzione approssimativa al tempo t_n è u_n e la soluzione numerica dell'equazione differenziale consiste nel calcolare una sequenza di soluzioni con la seguente equazione:

$$u_{n+1} = u_n + \Delta t f(u_n) + O(\Delta t)^2. \quad (6)$$

Questa formula è chiamata metodo di Eulero. Per le equazioni di moto fugoide, il metodo di Eulero fornisce il seguente algoritmo:

$$z_{n+1} = z_n + \Delta t b_n \quad (7)$$

$$b_{n+1} = b_n + \Delta t \left(g - \frac{g}{z_t} z_n \right) \quad (8)$$

dove:

- Δt è la lunghezza del passo temporale;
- g è la forza gravitazionale terrestre;
- z_n è l'altitudine del velivolo al passo n ;
- z_t è l'altitudine centrale del velivolo;
- b_n è la velocità del velivolo al passo n .

Il numero di passi di simulazione n viene calcolato $n = \frac{T}{\Delta t}$, dove T è il tempo totale di simulazione. La condizione iniziale è il valore della derivata al tempo $t = 0$ ed è l'altitudine iniziale del velivolo z_0 .

Moto Fugoide Con Attrito

L'equazione per il moto fugoide con attrito è un sistema di equazioni differenziali ordinarie del primo ordine:

$$m \frac{dv}{dt} = -W \sin \theta - D \quad (9)$$

$$mv \frac{d\theta}{dt} = -W \cos \theta + L. \quad (10)$$

Per visualizzare le traiettorie di volo previste da questo modello, che dipendono sia dalla velocità di avanzamento v sia dall'angolo della traiettoria θ , occorre calcolare la posizione dell'aliante ad ogni istante di tempo t . La posizione dell'aliante su un piano verticale sarà determinata dalle coordinate (x, y) :

$$x'(t) = v \cos(\theta) \quad (11)$$

$$y'(t) = v \sin(\theta). \quad (12)$$

L'intero sistema di equazioni discretizzate con il metodo di Eulero è:

$$v^{n+1} = v^n + \Delta t \left(-g \sin \theta^n - \frac{C_D}{C_L} \frac{g}{v_t^2} (v^n)^2 \right) \quad (13)$$

$$\theta^{n+1} = \theta^n + \Delta t \left(-\frac{g}{v^n} \cos \theta^n + \frac{g}{v_t^2} v^n \right) \quad (14)$$

$$x^{n+1} = x^n + \Delta t v^n \cos \theta^n \quad (15)$$

$$y^{n+1} = y^n + \Delta t v^n \sin \theta^n. \quad (16)$$

Scritto in forma vettoriale risulta:

$$u'(t) = f(u)$$

$$u = \begin{pmatrix} v \\ \theta \\ x \\ y \end{pmatrix} \quad f(u) = \begin{pmatrix} -g \sin \theta - \frac{C_D}{C_L} \frac{g}{v_t^2} v^2 \\ -\frac{g}{v} \cos \theta + \frac{g}{v_t^2} v \\ v \cos \theta \\ v \sin \theta \end{pmatrix} \quad (17)$$

dove:

- Δt è la lunghezza del passo temporale;
- g è la forza gravitazionale terrestre;
- x è lo spostamento orizzontale del velivolo;
- y è l'altitudine del velivolo;
- v è la velocità del velivolo;
- v_t è la velocità di trim;
- θ è l'angolo d'inclinazione del velivolo;
- C_D è il coefficiente di resistenza dell'aria;
- C_L è il coefficiente di portanza.

Il numero di passi di simulazione n viene calcolato $n = \frac{T}{\Delta t}$, dove T è il tempo totale di simulazione. Le condizioni iniziali sono rappresentate dalle costanti di integrazione definite dal valore della derivata al tempo $t = 0$:

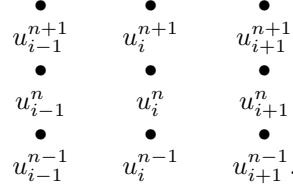
$$\begin{aligned} v(0) &= v_0 \quad \text{and} \quad \theta(0) = \theta_0 \\ x(0) &= x_0 \quad \text{and} \quad y(0) = y_0. \end{aligned}$$

Moto di Convezione

L'equazione di convezione lineare unidimensionale è un'equazione differenziale alle derivate parziali:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + c \frac{\partial u}{\partial x} = 0. \quad (18)$$

Per la soluzione numerica di $u(x, t)$ si sono utilizzati i pedici per denotare la posizione spaziale, come in u_i , e gli apici per denotare l'istante temporale, come in u^n :



L'equazione per fornire la soluzione numerica del problema è data da:

$$u_i^{n+1} = u_i^n - c \frac{\Delta t}{\Delta x} (u_i^n - u_{i-1}^n) \quad (19)$$

dove:

- Δt è la lunghezza del passo temporale;
- Δx è la lunghezza del passo spaziale;
- c è la velocità dell'onda.

Le condizioni iniziali per una funzione d'onda quadra sono definite così:

$$u(x, 0) = \begin{cases} 2 & \text{dove } 0.5 \leq x \leq 1, \\ 1 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (20)$$

dove il dominio della soluzione numerica è definito in $x \in (0, 2)$. In questo modo la lunghezza del passo spaziale viene calcolata come $\Delta x = \frac{|d|}{n-1}$, dove $|d|$ è la distanza tra l'estremo inferiore e l'estremo superiore del dominio della soluzione numerica, n il numero di punti della funzione d'onda discretizzata. Il numero totale di passi temporali i è invece costante. Poniamo inoltre delle condizioni al contorno su x in modo tale da ottenere il primo punto della funzione invariato per tutto il calcolo:

$$u(0, t) = c \quad (21)$$

dove c è una costante e il suo valore è pari al valore del primo punto della funzione.

Moto di Convezione e Diffusione (Burgers)

L'equazione di Burgers unidimensionale è un'equazione differenziale alle derivate parziali che fonde in sè un'equazione di convezione e una di diffusione:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \quad (22)$$

L'equazione per fornire la soluzione numerica del problema è data da:

$$u_i^{n+1} = u_i^n - u_i^n \frac{\Delta t}{\Delta x} (u_i^n - u_{i-1}^n) + \nu \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n) \quad (23)$$

dove:

- ν è il coefficiente di diffusione dell'onda;
- u :

$$-\frac{2\nu \left(-\frac{(-8t+2x)e^{-\frac{(-4t+x)^2}{4\nu(t+1)}}}{4\nu(t+1)} - \frac{(-8t+2x-4\pi)e^{-\frac{(-4t+x-2\pi)^2}{4\nu(t+1)}}}{4\nu(t+1)} \right)}{e^{-\frac{(-4t+x-2\pi)^2}{4\nu(t+1)}} + e^{-\frac{(-4t+x)^2}{4\nu(t+1)}}} + 4 \quad (24)$$

Il passo spaziale Δx viene calcolato come precedentemente mostrato per l'equazione di convezione. Il passo temporale Δt viene invece calcolato come $\Delta t = \frac{\sigma \Delta x^2}{n-1}$, dove σ è la costante di Courant-Friedrichs-Lowy (CFL) e n il numero di punti della funzione d'onda discretizzata. Il numero di passi temporali totali è $\frac{T}{\Delta t}$, dove T è il tempo totale di simulazione.

Le condizioni iniziali sono definite:

$$u(x, 0). \quad (25)$$

Le condizioni al contorno sono:

$$u(0) = u(2\pi). \quad (26)$$

3 Progettazione dell'Algoritmo

3.1 Scelte di Progetto

3.1.1 Dati del problema

Gli insiemi finiti di numeri reali (codomini di ciascuna funzione) si prestano in modo naturale ad essere implementati mediante strutture dati lineari. Queste verranno allocate dinamicamente in quanto non si conosce a priori il numero di punti del dominio di ciascuna funzione, in maniera da non imporre limitazioni rispetto alla specifica del problema.

3.1.2 Stampa a schermo

Per guidare al meglio l'utente durante la fase di acquisizione dei dati, si è scelto di stampare a schermo una descrizione dei parametri utilizzati da ciascun modello di simulazione. Questi sono stati divisi in:

- parametri iniziali: sono dei valori costanti che vengono utilizzati per impostare le condizioni iniziali di ciascuna simulazione numerica;
- parametri di simulazione: sono dei valori costanti fissati a priori che limitano l'esperienza di personalizzazione della simulazione numerica dell'utente ai soli dati richiesti in ingresso;
- parametri richiesti all'utente: sono i dati che l'utente può inserire per ciascuna simulazione. Per ciascun dato viene fornita un'indicazione sui valori più appropriati da digitare.

3.2 Passi dell'Algoritmo

I passi dell'algoritmo per risolvere il problema sono i seguenti:

1. Acquisire la lunghezza del passo temporale per l'equazione di moto fugoide senza attrito: **v1**.
2. Calcolare e stampare l'integrazione numerica dell'equazione di moto fugoide senza attrito: **2.1**.
3. Acquisire la lunghezza del passo temporale per l'equazione di moto fugoide con attrito: **v1**.
4. Calcolare e stampare l'integrazione numerica dell'equazione di moto fugoide con attrito: **4.1**.
5. Acquisire il numero di punti totali della funzione d'onda per l'equazione di convezione lineare unidimensionale: **v2**. e **5.1**.
6. Calcolare e stampare l'integrazione numerica dell'equazione di convezione lineare unidimensionale: **6.1**.
7. Acquisire il numero di punti totali della funzione d'onda per l'equazione di Burgers unidimensionale: **v2**.
8. Calcolare e stampare l'integrazione numerica dell'equazione di Burgers unidimensionale: **8.1**.

2.1 Calcolo del moto fugoide senza attrito

- Alla condizione iniziale z_0 si aggiunge il resto del calcolo per l'integrazione numerica dell'equazione:
 - Caso base: se il numero di passi temporali è pari a zero, si effettua un passo di integrazione numerica (vedi metodo di Eulero, in 2.3, 6) e si restituisce l'altitudine del velivolo z .
 - Caso generale: se il numero di passi temporali è maggiore di zero, si effettua un passo di integrazione numerica, si aggiunge l'altitudine del velivolo z alla funzione di traiettoria e poi, una volta decrementato di uno il numero di passi temporali, si procede ricorsivamente sul numero di passi rimanenti.

4.1 Calcolo del moto fugoide con attrito

- Alla condizione iniziale (x_0, y_0) si aggiunge il resto del calcolo per l'integrazione numerica dell'equazione:
 - Caso base: se il numero di passi temporali è pari a zero, si effettua un passo di integrazione numerica (vedi metodo di Eulero, in 2.3, 17) e si restituisce la coppia di coordinate spaziali (x, y) .
 - Caso generale: se il numero di passi temporali è maggiore di zero, si effettua un passo di integrazione numerica, si aggiunge la coppia di coordinate spaziali (x, y) alla funzione di traiettoria e poi, una volta decrementato di uno il numero di passi temporali, si procede ricorsivamente sul numero di passi rimanenti.

5.1 Acquisizione dati per il moto di convezione

- Se il numero di punti è pari a zero o uno, viene calcolata solamente la condizione iniziale: **6.1**
- Se il numero di punti è maggiore di uno, si acquisisce la lunghezza del passo temporale (**v1.**), si calcola la condizione iniziale **(6.1)** e si procede con l'integrazione numerica: **6.2**

6.1 Calcolo della condizione iniziale per l'equazione di convezione

- Si genera una lista di punti equidistanti fra loro rappresentante il dominio della funzione d'onda quadra: **a.**
- Si calcola su ogni punto del dominio la funzione d'onda quadra (vedi onda u , in 2.3, 20).

6.2 Calcolo dell'integrazione numerica per l'equazione di convezione

- Si calcola numericamente l'integrazione della funzione rispetto al tempo:
 - Caso base: se il numero di passi temporali è uguale a zero, viene restituita la funzione d'onda quadra.
 - Caso generale: se il numero di passi temporali è maggiore di zero, si decrementa di uno il numero di passi temporali, si calcola la condizione al contorno (vedi 2.3, 21) e la si aggiunge in testa al calcolo numerico dell'integrazione della funzione rispetto allo spazio. Quest'ultima viene effettuata come segue:
 - * Caso base: se si raggiunge il numero di passi spaziali totale, si effettua un passo di integrazione numerica (vedi metodo di Eulero, in 2.3, 19).
 - * Caso generale: se il numero di passi spaziali complessivo non è stato ancora raggiunto, si effettua un passo di integrazione numerica e poi, una volta incrementato di uno il numero di passi spaziali effettuati, si procede ricorsivamente sul numero di passi rimanenti.

8.1 Calcolo del moto convettivo-diffusivo (Burgers)

- Se il numero di punti è zero o uno, l'integrazione numerica dell'equazione è uguale al calcolo della condizione iniziale: **8.2.**
- Se il numero di punti è maggiore di uno, si calcola la condizione iniziale dell'equazione **(8.2)** e si procede con la sua integrazione numerica: **8.3.**

8.2 Calcolo della condizione iniziale per l'equazione di Burgers

- Si genera una lista di punti equidistanti fra loro rappresentante il dominio della funzione d'onda a dente di sega: **a.**
- Si applica la condizione iniziale (vedi 2.3, 25) alla funzione d'onda a dente di sega (vedi onda u , in 2.3, 24).

8.3 Calcolo dell'integrazione numerica per l'equazione di Burgers

- Si calcola numericamente l'integrazione della funzione rispetto al tempo:
 - Caso base: se il numero di passi temporali è uguale a zero, viene restituita la funzione d'onda a dente di sega.
 - Caso generale: se il numero di passi temporali è maggiore di zero, si decrementa di uno il numero di passi temporali, si calcola la condizione al contorno (vedi 2.3, 26) e la si aggiunge in testa al calcolo numerico dell'integrazione della funzione rispetto allo spazio. Quest'ultima viene effettuata come segue:
 - * Caso base: se si raggiunge il numero di passi spaziali totale, si calcola la condizione di bordo (vedi 2.3, 26).
 - * Caso generale: se il numero di passi spaziali complessivo non è stato ancora raggiunto, si effettua un passo di integrazione numerica (vedi metodo di Eulero, in 2.3, 23) e poi, una volta incrementato di uno il numero di passi spaziali effettuati, si procede ricorsivamente sul numero di passi rimanenti.

a. Generazione di punti equidistanti

- Se il numero di punti da generare è zero, si restituisce una sequenza di punti è vuota.
- Se il numero di punti da generare è maggiore di zero, si calcola la distanza tra l'estremo superiore e quello inferiore del dominio, si decrementa di uno il numero di punti totali e partendo dall'estremo inferiore del dominio:
 - Caso base: se si è raggiunto il numero massimo di punti da generare, si aggiunge alla sequenza di punti l'estremo inferiore del dominio.
 - Caso generale: se il numero massimo di punti da generare non è stato ancora raggiunto, si aggiunge alla sequenza il punto dell'estremo inferiore del dominio, si incrementa di uno il numero di punti calcolati, si calcola il punto successivo che diventa il nuovo estremo inferiore del dominio e si procede ricorsivamente sul numero di punti da generare rimasti.

v1. Validazione dell'acquisizione della lunghezza del passo temporale

- Caso base: se il valore del passo temporale è maggiore di zero, allora il dato viene acquisito.
- Caso generale: altrimenti si stampa su schermo un messaggio di errore e viene ripetuta l'acquisizione.

v2. Validazione dell'acquisizione del numero di punti di una funzione

- Caso base: se il numero di punti è un intero positivo, il valore viene acquisito.
- Caso generale: altrimenti si stampa su schermo un messaggio di errore e viene ripetuta l'acquisizione.

4 Implementazione dell'algoritmo

4.1 Haskell

File sorgente `simulazioni_numeriche.hs`

```
1 {- Programma Haskell per effettuare simulazioni numeriche -}
2
3 import Data.List {- necessario per usare:
4   - !!, che estrae l'n-esimo elemento di una lista;
5   - head, che estrae il primo elemento di una lista;
6   - last, che estrae l'ultimo elemento di una lista;
7   - tail, che estrae gli elementi di una lista successivi al primo;
8   - init, che estrae gli elementi di una lista precedenti all'ultimo;
9   - abs, che ritorna il valore assoluto di un numero;
10  - reverse, che ritorna una lista di elementi in ordine inverso;
11  - length, che ritorna la lunghezza della lista. -}
12
13 {- Costanti globali -}
14
15 {- Estremi del dominio spaziale dell'equazione di convezione -}
16 inf_conv = 0.0 -- Estremo inferiore del dominio spaziale.
17 sup_conv = 2.0 -- Estremo superiore del dominio spaziale.
18
19 {- Forza gravitazionale terrestre. -}
20 c_grv :: Double
21 c_grv = 9.81
22
23 {- Coefficiente di diffusione. -}
24 nu :: Double
25 nu = 0.07
26
27 {- Velocita' di trim del velivolo, misurato in m/s. -}
28 v_trim :: Double
29 v_trim = 30.0
30
31 {- Tipo di dato che rappresenta una coppia di elementi uguali. -}
32 type Coppia a = (a,a)
33
34 {- Tipo di dato che rappresenta una quadrupla di elementi uguali. -}
35 type Quadrupla a = (a,a,a,a)
36
37
38
39 main :: IO()
40 main = do putStrLn "Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale"
41           putStrLn "Anno 2023/2024"
42           putStrLn "Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo"
43           putStrLn "Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele"
44
45           putStrLn "-----"
46           putStrLn "| Calcolo del moto fugoide senza attrito"
47           putStrLn "| Parametri iniziali:"
48           putStrLn "| altitudine iniziale      = 100m,"
49           putStrLn "| velocita' iniziale       = 10m/s."
50           putStrLn "| Parametri di simulazione:"
51           putStrLn "| secondi di simulazione = 100s,
52           putStrLn "| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
53           putStrLn "| Parametro richiesto:
54           putStrLn "| passo temporale, determina la distanza temporale"
55           putStrLn "| tra due punti di simulazione, un valore basso"
56           putStrLn "| permette una simulazione piu' accurata.
57           putStrLn "| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.
58           putStrLn "-----"
59
60           dt <- acquisisci_dato_dt
61           putStrLn $ show (calc_fugoide_semplice (read dt :: Double))
62
63           putStrLn "-----"
64           putStrLn "| Calcolo del moto fugoide con attrito"
65           putStrLn "| Parametri iniziali:
66           putStrLn "| velocita' iniziale          = velocita' di trim,
67           putStrLn "| angolo iniziale            = Orad,
68           putStrLn "| spostamento laterale iniziale = Om,
69           putStrLn "| spostamento verticale iniziale = 1000m.
70           putStrLn "| Parametri di simulazione:
71           putStrLn "| secondi di simulazione     = 100s,
72           putStrLn "| velocita' di trim           = 30m/s,
73           putStrLn "| costante gravitazionale    = 9.81m/(s^2),
74           putStrLn "| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
75           putStrLn "| coefficiente di portanza     = 1N.
76           putStrLn "| Parametro richiesto:
77           putStrLn "| passo temporale, determina la distanza temporale
```

```

78     putStrLn "| tra due punti di simulazione, un valore basso           |"
79     putStrLn "| permette una simulazione piu' accurata.          |"
80     putStrLn "| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero. |"
81     putStrLn "-----"
82
83     dt <- acquisisci_dato_dt
84     putStrLn $ show (calc_fugoide_completo (read dt :: Double))
85
86     putStrLn "-----"
87     putStrLn "| Calcolo dell'equazione di convezione lineare a una dimensione |"
88     putStrLn "| Parametri iniziali:                                              |"
89     putStrLn "| estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,                  |"
90     putStrLn "| estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,                  |"
91     putStrLn "| valore della parte alta della funzione = 2.0,                  |"
92     putStrLn "| valore della parte bassa della funzione = 1.0.                 |"
93     putStrLn "| Parametri di simulazione:                                         |"
94     putStrLn "| numero di passi temporali da effettuare = 25,                |"
95     putStrLn "| velocita' dell'onda = 1.0.                                     |"
96     putStrLn "| Parametri richiesti all'utente:                                |"
97     putStrLn "| numero di punti che compongono la funzione d'onda,            |"
98     putStrLn "| un valore alto permette una simulazione piu' accurata.        |"
99     putStrLn "| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale. |"
100    putStrLn "| Passo temporale, determina la distanza temporale             |"
101    putStrLn "| tra due punti di simulazione, un valore basso                 |"
102    putStrLn "| permette una simulazione piu' accurata.                      |"
103    putStrLn "| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.   |"
104    putStrLn "-----"
105
106 acqui_dati_e_calc_conv
107
108     putStrLn "-----"
109     putStrLn "| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione |"
110     putStrLn "| Parametri iniziali:                                              |"
111     putStrLn "| estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,          |"
112     putStrLn "| estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.                 |"
113     putStrLn "| Parametri di simulazione:                                         |"
114     putStrLn "| tempo finale di simulazione = 0.6s,                         |"
115     putStrLn "| coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,                      |"
116     putStrLn "| costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.                  |"
117     putStrLn "| Parametri richiesti all'utente:                                |"
118     putStrLn "| numero di punti che compongono la funzione d'onda.            |"
119     putStrLn "| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale. |"
120     putStrLn "-----"
121
122     nx <- acquisisci_dato_nxb
123     putStrLn $ show (calc_burgers (read nx :: Int))
124
125
126 {- Inizio sezione input/output -}
127
128
129 {- L'azione input/output acquisisci_dato_dt acquisisce un parametro numerico
130   reale di simulazione, ovvero la lunghezza del passo temporale.-}
131
132     acquisisci_dato_dt :: IO String
133     acquisisci_dato_dt = do putStrLn "Digita lunghezza del passo temporale: "
134         dt <- getLine
135         if ((read dt :: Double) > 0)
136             then return dt
137         else do putStrLn "Acquisizione errata!"
138                 putStrLn "Il valore deve essere maggiore di zero."
139                 acquisisci_dato_dt
140
141
142 {- L'azione input/output acqui_dati_e_calc_conv acquisisce due parametri numerici
143   di simulazione per l'equazione di convezione: il primo, un naturale per il
144   numero di punti della funzione d'onda; il secondo un reale per la lunghezza
145   del passo temporale. In seguito all'acquisizione dei parametri calcola l'integrazione
146   numerica dell'equazione di convezione. -}
147
148     acqui_dati_e_calc_conv :: IO ()
149     acqui_dati_e_calc_conv = do putStrLn "Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: "
150         nx <- getLine
151         if (((read nx :: Integer) == 0) ||
152             ((read nx :: Integer) == 1))
153             then putStrLn $ show (cond_iniziale (read nx :: Int) onda_quadra inf_conv sup_conv)
154         else if ((read nx :: Integer) > 1)
155             then do dt <- acquisisci_dato_dt
156                     putStrLn $ show (calc_convezione (read nx :: Int) (read dt :: Double))
157             else do putStrLn "Acquisizione errata!"
158                     putStrLn "Il valore deve essere un numero naturale."
159                     acqui_dati_e_calc_conv
160
161

```

```

162 {- L'azione input/output acquisisci_dato_nxb acquisisce un parametro numerico
163   naturale di simulazione, ovvero il numero totale di punti della funzione
164   d'onda per il calcolo dell'equazione di Burgers. -}
165
166 acquisisci_dato_nxb :: IO String
167 acquisisci_dato_nxb = do putStrLn "Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: "
168   nx <- getLine
169   if ((read nx :: Integer) >= 0)
170     then return nx
171   else do putStrLn "Acquisizione errata!"
172     putStrLn "Il valore deve essere un numero naturale."
173   acquisisci_dato_nxb
174
175
176 {- Fine sezione input/output -}
177
178
179 {- Inizio sezione fugoide semplice -}
180
181
182 {- La funzione calc_fugoide_semplice calcola il moto fugoide privo di attrito di un velivolo generico:
183   - il suo unico argomento e' la lunghezza del passo temporale dt. -}
184
185 calc_fugoide_semplice :: Double -> [Double]
186 calc_fugoide_semplice dt = z0 : calc_moto_semplice (z0, b0) dt passi_temporali
187   where
188     z0          = 100.0           -- Altitudine iniziale del velivolo.
189     b0          = 10.0            -- Velocita' iniziale del velivolo.
190     tempo       = 100.0           -- Numero di secondi di simulazione.
191     passi_temporali = floor(tempo/dt) + 1 -- Numero di punti in cui effettuare il calcolo.
192
193
194 {- La funzione calc_moto_semplice calcola numericamente l'integrazione del moto fugoide:
195   - il primo argomento e' una coppia di valori, ovvero altitudine e velocita'
196     del velivolo;
197   - il secondo argomento e' la lunghezza del passo temporale dt;
198   - il terzo argomento e' il numero di passi che sono ancora da effettuare. -}
199
200 calc_moto_semplice :: Coppia Double -> Double -> Int -> [Double]
201 calc_moto_semplice dA@(dAA,_) dt len | len == 0  = [dAA]
202                                         | otherwise = dBA : calc_moto_semplice dB dt (len - 1)
203   where
204     dB@(dBA,_) = passo_eulero_semplice dA dt
205
206
207 {- La funzione passo_eulero_semplice applica il metodo di Eulero ad una coppia di numeri.
208   La funzione approssima la soluzione al tempo t_(n+1) tramite il valore della funzione
209   al tempo t_n ed un opportuno passo temporale:
210   - il primo argomento e' una coppia di valori, ovvero la posizione e direzione del
211     velivolo al momento t_n;
212   - il secondo argomento e' la lunghezza del passo temporale dt. -}
213
214 passo_eulero_semplice :: Coppia Double -> Double -> Coppia Double
215 passo_eulero_semplice dA@(y@alt, v@vel) dt = somma_coppia dA (molt_coppia_scalare (derivata_u_semplice dA) dt)
216
217
218 {- La funzione derivata_u_semplice viene utilizzata per l'applicazione dell'equazione del moto fugoide:
219   - il suo unico argomento e' una coppia di valori, ovvero altitudine e velocita' del velivolo. -}
220
221 derivata_u_semplice :: Coppia Double -> Coppia Double
222 derivata_u_semplice dA@(y@alt, v@vel) = (v, c_grv * (1-y/zt))
223   where
224     zt = 100.0 -- Altitudine centrale all'oscillazione.
225
226
227 {- Fine sezione fugoide semplice -}
228
229
230 {- Inizio sezione fugoide completo -}
231
232
233 {- La funzione calc_fugoide_completo calcola il moto fugoide con attrito di un velivolo generico:
234   - il suo unico argomento e' la lunghezza del passo temporale dt. -}
235
236 calc_fugoide_completo :: Double -> [[Double]]
237 calc_fugoide_completo dt = [x0, y0] : calc_moto_completo (v0, theta0, x0, y0) dt passi_temporali
238   where
239     v0          = v_trim           -- La velocita' iniziale, in questo caso quella di trim.
240     theta0     = 0.0              -- Angolo iniziale del velivolo.
241     x0          = 0.0              -- Spostamento orizzontale iniziale del velivolo.
242     y0          = 1000.0           -- Altitudine iniziale del velivolo.
243     tempo       = 100.0           -- Numero di secondi di simulazione.
244     passi_temporali = floor(tempo/dt) + 1 -- Numero di punti in cui effettuare il calcolo.
245

```

```

246
247 {- La funzione calc_moto_completo calcola numericamente l'integrazione del moto fugoide:
248 - il primo argomento e' una quadrupla di valori, ovvero velocita', angolo,
249 - spostamento laterale e verticale del velivolo;
250 - il secondo argomento e' la lunghezza del passo temporale dt;
251 - il terzo argomento e' il numero di passi che sono ancora da effettuare. -}
252
253 calc_moto_completo :: Quadrupla Double -> Double -> Int -> [[Double]]
254 calc_moto_completo dA dt len | len == 0 = [[dBC, dBd]]
255 | otherwise = [dBC, dBd] : calc_moto_completo dB dt (len - 1)
256
257 where
258   dB@(_, _, dBC, dBd) = passo_eulero_completo dA dt
259
260 {- La funzione passo_eulero_completo applica il metodo di Eulero ad una quadrupla di numeri.
261 La funzione approssima la soluzione al tempo t_(n+1) tramite il valore della funzione
262 al tempo t_n ed un opportuno passo temporale:
263 - il primo argomento e' una quadrupla di valori, ovvero la velocita', angolo, spostamento
264 laterale e verticale del velivolo al momento t_n;
265 - il secondo argomento e' la lunghezza del passo temporale dt. -}
266
267 passo_eulero_completo :: Quadrupla Double -> Double -> Quadrupla Double
268 passo_eulero_completo dA@(v, theta, x, y) dt = somma_quadrupla dA (molt_quadrupla_scalare (derivata_u_completo (v, theta)) dt)
269
270 {- La funzione derivata_u_completo viene utilizzata per l'applicazione dell'equazione del moto fugoide:
271 - il suo unico argomento e' una coppia di valori, ovvero la velocita' e l'angolo del velivolo. -}
272
273 derivata_u_completo :: Coppia Double -> Quadrupla Double
274 derivata_u_completo dA@(v, theta) = (- (c_grv * sin theta) - (c_res / c_prt)*c_grv/v_trim**2*v**2,
275 - (c_grv * cos theta / v) + c_grv/v_trim**2*v,
276 v*cos theta,
277 v*sin theta)
278
279 where
280   c_res = 0.025 -- Coefficiente di resistenza all'aria.
281   c_prt = 1.0 -- Coefficiente di portanza.
282
283 {- Fine sezione fugoide completo -}
284
285
286 {- Inizio sezione funzioni ausiliarie -}
287
288
289
290 {- La funzione somma_coppia prende due coppie dello stesso tipo e
291 restituisce la coppia risultante dalla somma rispettiva degli elementi. -}
292
293 somma_coppia :: (Num a) => Coppia a -> Coppia a -> Coppia a
294 somma_coppia (a1,b1) (a2,b2) = (a1+a2, b1+b2)
295
296
297 {- La funzione molt_coppia_scalare prende una coppia di elementi numerici
298 ed un valore numerico e restituisce la coppia risultante dalla
299 moltiplicazione rispettiva degli elementi:
300 - il primo argomento e' una coppia di elementi;
301 - il secondo argomento e' un valore numerico. -}
302
303 molt_coppia_scalare :: (Num a) => Coppia a -> a -> Coppia a
304 molt_coppia_scalare (a1,b1) b = (a1*b, b1*b)
305
306
307 {- La funzione somma_quadrupla prende due quadruple dello stesso tipo e
308 restituisce la quadrupla risultante dalla somma rispettiva degli elementi. -}
309
310 somma_quadrupla :: (Num a) => Quadrupla a -> Quadrupla a -> Quadrupla a
311 somma_quadrupla (a1,b1,c1,d1) (a2,b2,c2,d2) = (a1+a2, b1+b2, c1+c2, d1+d2)
312
313
314 {- La funzione molt_quadrupla_scalare prende una quadrupla di elementi numerici
315 ed un valore numerico e restituisce la quadrupla risultante dalla
316 moltiplicazione rispettiva degli elementi:
317 - il primo argomento e' una quadrupla di elementi;
318 - il secondo argomento e' un valore numerico. -}
319
320 molt_quadrupla_scalare :: (Num a) => Quadrupla a -> a -> Quadrupla a
321 molt_quadrupla_scalare (a1,b1,c1,d1) b = (a1*b, b1*b, c1*b, d1*b)
322
323
324 {- Fine sezione funzioni ausiliarie -}
325
326
327 {- Inizio sezione convezione lineare -}
328
329

```

```

330 {- La funzione calc_convezione calcola l'integrazione numerica dell'equazione di convezione
331    lineare a una dimensione:
332    - il primo argomento e' il numero di punti totali della funzione d'onda;
333    - il secondo argomento e' la lunghezza del passo temporale. -}
334
335 calc_convezione :: Int -> Double -> [Double]
336 calc_convezione nx dt = tempo_conv nt nx c dx dt (cond_iniziale nx onda_quadra inf_conv sup_conv)
337 where
338    nt = 25                                     -- Numero complessivo di passi temporali.
339    dx = abs(sup_conv - inf_conv) / (fromIntegral(nx :: Int) - 1) -- Distanza tra qualsiasi coppia di punti della griglia adiacenti.
340    c = 1.0                                      -- Velocita' dell'onda.
341
342 {- La funzione tempo_conv calcola numericamente l'integrazione della
343    funzione rispetto al parametro temporale dt:
344    - il primo argomento e' il numero di passi temporali totali che la
345      funzione d'onda deve compiere;
346    - il secondo argomento e' il numero di passi spaziali utilizzati dal
347      predicato spazio_conv;
348    - il terzo argomento e' la costante di velocità dell'onda;
349    - il quarto argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
350    - il quinto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
351    - il sesto argomento e' la funzione d'onda ricalcolata. -}
352
353 tempo_conv :: Int -> Int -> Double -> Double -> [Double] -> [Double]
354 tempo_conv 0 _ _ _ onda = onda
355 tempo_conv nt nx c dx dt onda = tempo_conv (nt - 1) nx c dx dt ((head onda) : spazio_conv 1 c dx dt onda)
356
357 {- La funzione spazio_conv calcola numericamente l'integrazione della
358    funzione rispetto al parametro spaziale dx:
359    - il primo argomento e' il numero di passi temporali che la funzione
360      d'onda ha compiuto;
361    - il secondo argomento e' la costante di velocità dell'onda;
362    - il terzo argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
363    - il quarto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
364    - il quinto argomento e' la funzione d'onda. -}
365
366 spazio_conv :: Int -> Double -> Double -> [Double] -> [Double]
367 spazio_conv i c dx dt lx | i == length lx - 1 = [passo_eulero]
368 | otherwise           = passo_eulero : spazio_conv (i+1) c dx dt lx
369 where
370    passo_eulero = lx !! i - c * dt /dx *(lx !! i - lx !! (i-1))
371
372 {- La funzione onda_quadra calcola la funzione d'onda quadra:
373    - il suo unico argomento e' la lista di punti equidistanti del dominio spaziale. -}
374
375 onda_quadra :: Double -> Double
376 onda_quadra x | x >= 0.5 && x <= 1.0 = onda_sup
377 | otherwise           = onda_inf
378 where
379    onda_sup = 2.0 -- Valori assunti dalla parte alta della funzione d'onda quadra.
380    onda_inf = 1.0 -- Valori assunti dalla parte bassa della funzione d'onda quadra.
381
382 {- Fine sezione convezione lineare -}
383
384 {- Inizio sezione equazione di Burgers -}
385
386 {- La funzione calc_burgers calcola l'integrazione numerica dell'equazione di Burgers a una dimensione:
387    - il suo unico argomento e' il numero di punti totali della funzione d'onda. -}
388
389 calc_burgers :: Int -> [Double]
390 calc_burgers nx | nx == 0 || nx == 1 = cond_iniziale nx onda_dente_sega inf sup
391 | otherwise           = tempo_burg nt nx dx dt (cond_iniziale nx onda_dente_sega inf sup)
392 where
393    inf     = 0.0                                -- Estremo inferiore del dominio spaziale.
394    sup     = 2.0 * pi                            -- Estremo superiore del dominio spaziale.
395    dx      = abs(sup - inf) / (fromIntegral(nx :: Int) - 1) -- Distanza tra qualsiasi coppia di punti della griglia adiacenti.
396    sigma   = 0.1                                -- Costante di Courant-Friedrichs-Levy (CFL).
397    dt      = sigma * dx**2 / nu                -- Lunghezza del passo temporale.
398    t_fine  = 0.6                                -- Tempo totale di simulazione.
399    nt      = floor(t_fine / dt)                 -- Numero complessivo di passi temporali.
400
401 {- La funzione tempo_burg calcola numericamente l'integrazione della funzione rispetto al
402    parametro temporale dt:
403    - il primo argomento e' il numero di passi temporali totali che la
404      funzione d'onda deve compiere;
405    - il secondo argomento e' il numero di passi spaziali utilizzati dalla
406      funzione spazio_burg;
407
408
409
410
411
412
413

```

```

414     - il terzo argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
415     - il quarto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
416     - il quinto argomento e' la funzione d'onda ricalcolata. -}
417
418 tempo_burg :: Int -> Int -> Double -> Double -> [Double] -> [Double]
419 tempo_burg 0 _ _ onda = onda
420 tempo_burg nt nx dx dt onda = tempo_burg (nt - 1) nx dx dt (bordo : spazio_burg 1 dx dt onda)
421 where
422     bordo = head onda - head onda * dt/dx * (head onda - last onda) +
423             nu*dt/dx**2 * ((head $ tail onda) - 2*(head onda) + last onda) -- Condizione di bordo.
424
425
426 {- La funzione spazio_burg calcola numericamente l'integrazione della
427    funzione rispetto al parametro spaziale dx:
428    - il primo argomento e' l'indice per accedere agli elementi della
429      lista, viene utilizzato da passo_eulero;
430    - il secondo argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
431    - il terzo argomento e' la lunghezza del passo temporale;
432    - il quarto argomento e' la funzione d'onda. -}
433
434 spazio_burg :: Int -> Double -> Double -> [Double] -> [Double]
435 spazio_burg i dx dt lx | i == length lx - 1 = [bordo]
436           | otherwise = (passo_eulero) : spazio_burg (i+1) dx dt lx
437 where
438     bordo = (last lx) - (last lx) * dt/dx * ((last lx) - (last $ init lx)) +
439             nu*dt/dx**2 * (head lx - 2*(last lx) + (last $ init lx)) -- Condizione di bordo.
440     passo_eulero = (lx !! i - lx !! i * dt/dx * (lx !! i - lx !! (i-1)) +
441                      nu*dt/dx**2 * (lx !! (i+1) - 2*(lx !! i) + lx !! (i-1)))
442
443
444 {- La funzione onda_dente_sega calcola la funzione d'onda a dente di sega 'u':
445    - il suo unico argomento e' la lista di punti equidistanti del dominio spaziale.
446    Per il calcolo dell'onda si fa uso dei predicati phi e phi_primo che sono
447    rispettivamente la funzione e la sua derivata. -}
448
449 onda_dente_sega :: Double -> Double
450 onda_dente_sega x = u t0 x nu
451 where
452     t0 = 0.0
453     phi_primo t0 x nu = (-8*t0 + 2*x)*exp(-(-4*t0 + x)**2/(4*nu*(t0 + 1)))/(4*nu*(t0 + 1)) -
454                     (-8*t0 + 2*x - 4*pi)*exp(-(-4*t0 + x - 2*pi)**2/(4*nu*(t0 + 1)))/(4*nu*(t0 + 1))
455     phi t0 x nu = exp(-(x-4*t0)**2/(4*nu*(t0+1))) + exp(-(x-4*t0-2*pi)**2/(4*nu*(t0+1)))
456     u t0 x nu = -2*nu*((phi_primo t0 x nu) / (phi t0 x nu))+4
457
458
459 {- Fine sezione equazione di Burgers -}
460
461
462 {- Inizio sezione funzioni condivise -}
463
464
465 {- La funzione cond_iniziale calcola la condizione iniziale (una funzione)
466    per l'integrazione numerica dell'equazione di convezione e di Burgers:
467    - il primo argomento e' il numero di punti della griglia spaziale;
468    - il secondo argomento e' la funzione onda_quadra (onda_dente_sega)
469      utilizzata per il calcolo delle omonime funzioni;
470    - il terzo argomento e' l'estremo inferiore del dominio spaziale;
471    - il quarto argomento e' l'estremo superiore del dominio spaziale. -}
472
473 cond_iniziale :: Int -> (Double -> Double) -> Double -> Double -> [Double]
474 cond_iniziale nx onda inf sup = [onda x | x <- lx]
475 where
476     lx = gen_punti_equi nx inf sup
477
478
479 {- La funzione gen_punti_equi genera una lista di punti equidistanti tra loro:
480    - il primo argomento e' il numero di punti che si vuole generare;
481    - il secondo argomento e' l'estremo inferiore della lista di punti;
482    - il terzo argomento e' l'estremo superiore della lista di punti.
483    Per il calcolo dei punti si fa uso della funzione calc_punti. -}
484
485 gen_punti_equi :: Int -> Double -> Double -> [Double]
486 gen_punti_equi 0 _ _ = []
487 gen_punti_equi nx inf sup | sup > inf = calc_punti 0 (nx - 1) inf (abs $ sup - inf)
488           | otherwise = reverse(calc_punti 0 (nx - 1) sup (abs $ sup - inf))
489
490
491
492 calc_punti :: Int -> Int -> Double -> Double -> [Double]
493 calc_punti i nx inf dst | i == nx = [inf]
494           | otherwise = inf : calc_punti (i + 1) nx (inf + (dst / fromIntegral(nx :: Int))) dst
495
496
497 {- Fine sezione funzioni condivise -}

```

4.2 Prolog

File sorgente `simulazioni_numeriche.pro`

```
1  /* Programma Prolog per effettuare simulazioni numeriche */
2
3  main :-  
4      write('Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale'), nl,  
5      write('Anno 2023/2024'), nl,  
6      write('Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo'), nl,  
7      write('Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele'), nl,  
8  
9      write('-----'), nl,  
10     write('| Calcolo del moto fugoide senza attrito'), nl,  
11     write('Parametri iniziali:'), nl,  
12     write('| altitudine iniziale      = 100m,'), nl,  
13     write('| velocita\' iniziale      = 10m/s.'), nl,  
14     write('Parametri di simulazione:'), nl,  
15     write('| secondi di simulazione   = 100s,'), nl,  
16     write('| costante gravitazionale  = 9.81m/(s^2).'), nl,  
17     write('Parametro richiesto:'), nl,  
18     write('| passo temporale, determina la distanza temporale'), nl,  
19     write('| tra due punti di simulazione, un valore basso'), nl,  
20     write('| permette una simulazione piu\' accurata.'), nl,  
21     write('| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.'), nl,  
22     write('-----'), nl,  
23  
24     acquisisci_dato_dt(DT),  
25     calc_fugoide_semplice(DT, FS),  
26     write(FS), nl,  
27  
28     write('-----'), nl,  
29     write('| Calcolo del moto fugoide con attrito'), nl,  
30     write('Parametri iniziali:'), nl,  
31     write('| velocita\' iniziale      = velocita\' di trim,'), nl,  
32     write('| angolo iniziale        = Orad,'), nl,  
33     write('| spostamento laterale iniziale = 0m,'), nl,  
34     write('| spostamento verticale iniziale = 1000m.'), nl,  
35     write('Parametri di simulazione:'), nl,  
36     write('| secondi di simulazione   = 100s,'), nl,  
37     write('| velocita\' di trim       = 30m/s,'), nl,  
38     write('| costante gravitazionale  = 9.81m/(s^2),'), nl,  
39     write('| coefficiente di resistenza dell\'aria = 0.025,'), nl,  
40     write('| coefficiente di portanza    = 1N.'), nl,  
41     write('Parametro richiesto:'), nl,  
42     write('| passo temporale, determina la distanza temporale'), nl,  
43     write('| tra due punti di simulazione, un valore basso'), nl,  
44     write('| permette una simulazione piu\' accurata.'), nl,  
45     write('| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.'), nl,  
46     write('-----'), nl,  
47  
48     acquisisci_dato_dt(DT1),  
49     calc_fugoide_completo(DT1, FC),  
50     write(FC), nl,  
51  
52     write('-----'), nl,  
53     write('| Calcolo dell\' equazione di convezione lineare a una dimensione'), nl,  
54     write('Parametri iniziali:'), nl,  
55     write('| estremo superiore del dominio spaziale  = 2.0,'), nl,  
56     write('| estremo inferiore del dominio spaziale  = 0.0,'), nl,  
57     write('| valore della parte alta della funzione = 2.0,'), nl,  
58     write('| valore della parte bassa della funzione = 1.0.'), nl,  
59     write('Parametri di simulazione:'), nl,  
60     write('| numero di passi temporali da effettuare = 25,'), nl,  
61     write('| velocita\' dell\'onda                  = 1.0.'), nl,  
62     write('Parametri richiesti all\'utente:'), nl,  
63     write('| numero di punti che compongono la funzione d\'onda,'), nl,  
64     write('| un valore alto permette una simulazione piu\' accurata.'), nl,  
65     write('| Il valore del numero di punti dell\'onda deve essere un naturale.'), nl,  
66     write('| Passo temporale, determina la distanza temporale'), nl,  
67     write('| tra due punti di simulazione, un valore basso'), nl,  
68     write('| permette una simulazione piu\' accurata.'), nl,  
69     write('| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.'), nl,  
70     write('-----'), nl,  
71  
72     acquisisci_dati_conv(NXC,DT2),  
73     calc_convezione(NXC,DT2,CONV),  
74     write(CONV), nl,  
75  
76     write('-----'), nl,  
77     write('| Calcolo dell\'equazione di Burgers a una dimensione'), nl,  
78     write('Parametri iniziali:'), nl,  
79     write('| estremo superiore del dominio spaziale  = 2.0 * pi,'), nl,  
80     write('| estremo inferiore del dominio spaziale  = 0.0.')
```

```

81     write('! Parametri di simulazione:          |'), nl,
82     write('! tempo finale di simulazione      = 0.6s,        |'), nl,
83     write('! coefficiente di diffusione       = 1.0m^2/s,    |'), nl,
84     write('! costante di Courant-Friedrichs-Lewy = 0.1.        |'), nl,
85     write('! Parametri richiesti all\'utente:          |'), nl,
86     write('! numero di punti che compongono la funzione d\'onda.  |'), nl,
87     write('! Il valore del numero di punti dell\'onda deve essere un naturale. |'), nl,
88     write('-----'), nl,
89
90     acquisisci_dato_nxb(NXB),
91     calc_burgers(NXB,BURG),
92     write(BURG).
93
94
95 /* Inizio sezione input/output */
96
97
98 /* Il predicato acquisisci_dato_dt acquisisce un parametro numerico
99   reale positivo di simulazione, ovvero la lunghezza del passo temporale. */
100
101 acquisisci_dato_dt(DT) :- write('Digita lunghezza del passo temporale: '),
102           read(DTV),
103           DTV > 0,
104           DT is DTV,
105           !;
106           write('Acquisizione errata!'), nl,
107           write('Il valore deve essere maggiore di zero.'), nl,
108           acquisisci_dato_dt(DT).
109
110
111 /* Il predicato acquisisci_dati_conv acquisisce due parametri numerici di simulazione
112   per l'equazione di convezione: il primo, un naturale per il numero di punti della
113   funzione d'onda; il secondo un reale positivo per la lunghezza del passo temporale. */
114
115 acquisisci_dati_conv(NX,DT) :- write('Digita il numero di punti totali della funzione d\'onda: '),
116           read(NXV),
117           integer(NXV),
118           acquisisci_dato_nxc(NXV,NX,DT),
119           !;
120           write('Acquisizione errata!'), nl,
121           write('Il valore deve essere un numero naturale.'), nl,
122           acquisisci_dati_conv(NX,DT).
123
124 acquisisci_dato_nxc(NX,NX,_) :- (NX == 0;
125           NX == 1).
126 acquisisci_dato_nxc(NX,NX,DT) :- NX > 1,
127           acquisisci_dato_dt(DT).
128
129
130 /* Il predicato acquisisci_dato_nxb acquisisce un parametro numerico naturale
131   di simulazione, ovvero il numero totale di punti della funzione
132   d'onda per il calcolo dell'equazione di Burgers. */
133
134 acquisisci_dato_nxb(NX) :- write('Digita il numero di punti totali della funzione d\'onda: '),
135           read(NXV),
136           integer(NXV),
137           NXV >= 0,
138           NX is NXV,
139           !;
140           write('Acquisizione errata!'), nl,
141           write('Il valore deve essere un numero naturale.'), nl,
142           acquisisci_dato_nxb(NX).
143
144
145 /* Fine sezione input/output */
146
147
148 /* Inizio sezione fugoide semplice */
149
150
151 /* Il predicato calc_fugoide_semplice calcola il moto fugoide privo di attrito di un velivolo generico:
152   - il primo argomento e' la lunghezza del passo temporale dt;
153   - il secondo argomento e' la funzione di traiettoria risultante. */
154
155 calc_fugoide_semplice(DT,[Z0|T]) :- Z0 is 100.0,          /* Altitudine iniziale del velivolo. */          */
156           B0 is 10.0,           /* Angolo iniziale del velivolo. */          */
157           PASSI is (floor(100.0/DT) + 1), /* Numero di punti in cui effettuare il calcolo. */
158           calc_moto(Z0,B0,DT,PASSI,T).
159
160
161 /* Il predicato calc_moto calcola numericamente l'integrazione del moto fugoide:
162   - il primo argomento e' l'altitudine del velivolo;
163   - il secondo argomento e' la velocita' del velivolo;
164   - il terzo argomento e' la lunghezza del passo temporale dt;
```

```

165      - il quarto argomento e' il numero di passi che sono ancora da effettuare;
166      - il quinto argomento e' una lista di valori numerici che rappresentano
167          l'altitudine del velivolo per ogni passo temporale. */
168
169 calc_moto(Y,V,DT,0,[YT])      :- passo_eulero(Y,V,DT,YT,_).
170 calc_moto(Y,V,DT,LEN,[YT|T])  :- LEN > 0,
171                               passo_eulero(Y,V,DT,YT,VT),
172                               LEN1 is (LEN - 1),
173                               calc_moto(YT,VT,DT,LEN1,T).
174
175
176 /* Il predicato passo_eulero applica il metodo di Eulero ad una coppia di numeri. Il
177    predicato approssima la soluzione al tempo  $t_{(n+1)}$  tramite il valore del predicato
178    al tempo  $t_n$  ed un opportuno passo temporale:
179      - il primo argomento e' l'altitudine del velivolo;
180      - il secondo argomento e' la velocita' del velivolo;
181      - il terzo argomento e' la lunghezza del passo temporale dt;
182      - il quarto argomento e' l'altitudine del velivolo ricalcolata;
183      - il quinto argomento e' la velocita' del velivolo ricalcolata. */
184
185 passo_eulero(Y,V,DT,Y1,V1) :- derivata_u(Y,V,YT,VT),
186                               Y1 is (Y + (YT * DT)),
187                               V1 is (V + (VT * DT)).
188
189
190 /* Il predicato derivata_u viene utilizzato per l'applicazione dell'equazione del
191    moto fugoide:
192      - il primo argomento e' l'altitudine del velivolo;
193      - il secondo argomento e' l'angolazione del velivolo;
194      - il terzo argomento e' l'altitudine del velivolo ricalcolata;
195      - il quarto argomento e' l'angolazione del velivolo ricalcolata. */
196
197 derivata_u(Y,V,V1) :- CG is 9.81,      /* Costante gravitazionale terrestre. */
198                      ZT is 100.0,     /* Altitudine centrale all'oscillazione. */
199                      V1 is CG * (1-Y/ZT).
200
201
202 /* Fine sezione fugoide semplice */
203
204
205 /* Inizio sezione fugoide completo */
206
207
208 /* Il predicato calc_fugoide_completo calcola il moto fugoide con attrito di un velivolo generico:
209      - il primo argomento e' la lunghezza del passo temporale dt;
210      - il secondo argomento e' la funzione di traiettoria risultante. */
211
212 calc_fugoide_completo(DT,[[X0|YO]|T]) :- VO is 30.0,                                /* La velocita' iniziale, in questo caso quella di trim. */
213                                         THETAO is 0.0,                                /* Angolo iniziale del velivolo. */
214                                         XO is 0.0,                                    /* Spostamento orizzontale iniziale del velivolo. */
215                                         YO is 1000.0,                                 /* Altitudine iniziale del velivolo. */
216                                         PASSI is (floor(100.0/DT) + 1), /* Numero di punti in cui effettuare il calcolo. */
217                                         calc_moto(VO,THETAO,XO,YO,DT,PASSI,T).           /* */
218
219
220 /* Il predicato calc_moto calcola numericamente l'integrazione del moto fugoide:
221      - il primo argomento e' la velocita' del velivolo;
222      - il secondo argomento e' l'angolo del velivolo;
223      - il terzo argomento e' lo spostamento laterale del velivolo;
224      - il quarto argomento e' lo spostamento verticale del velivolo;
225      - il quinto argomento e' la lunghezza del passo temporale dt;
226      - il sesto argomento e' il numero di passi che sono ancora da effettuare;
227      - il settimo argomento e' una lista di coppie di valori numerici che rappresentano
228          spostamento laterale e l'altitudine del velivolo per ogni passo temporale. */
229
230 calc_moto(V,THETA,X,Y,DT,0,[X1,Y1])      :- passo_eulero(V,THETA,X,Y,DT,_,_,X1,Y1).
231 calc_moto(V,THETA,X,Y,DT,LEN,[X1|Y1]|T)  :- LEN > 0,
232                               passo_eulero(V,THETA,X,Y,DT,V1,THETA1,X1,Y1),
233                               LEN1 is (LEN - 1),
234                               calc_moto(V1,THETA1,X1,Y1,DT,LEN1,T).
235
236
237 /* Il predicato passo_eulero applica il metodo di Eulero ad una quadrupla di numeri. Il
238    predicato approssima la soluzione al tempo  $t_{(n+1)}$  tramite il valore del predicato
239    al tempo  $t_n$  ed un opportuno passo temporale:
240      - il primo argomento e' la velocita' del velivolo;
241      - il secondo argomento e' l'angolo del velivolo;
242      - il terzo argomento e' lo spostamento laterale del velivolo;
243      - il quarto argomento e' lo spostamento verticale del velivolo;
244      - il quinto argomento e' la lunghezza del passo temporale dt;
245      - il sesto argomento e' la velocita' del velivolo ricalcolata;
246      - il settimo argomento e' l'angolo del velivolo ricalcolato;
247      - il ottavo argomento e' lo spostamento laterale del velivolo ricalcolato;
248      - il nono argomento e' lo spostamento verticale del velivolo ricalcolato. */

```

```

249
250 passo_eulero(V,THETA,X,Y,DT,V1,THETA1,X1,Y1) :- derivata_u(V,THETA,VT,THETAT,XT,YT),
251           V1      is (V + (VT * DT)),
252           THETA1  is (THETA + (THETAT * DT)),
253           X1      is (X + (XT * DT)),
254           Y1      is (Y + (YT * DT)).
255
256
257 /* Il predicato derivata_u viene utilizzato per l'applicazione dell'equazione del
258  moto fugoide:
259  - il primo argomento e' la velocita' del velivolo;
260  - il secondo argomento e' l'angolazione del velivolo;
261  - il terzo argomento e' la velocita' del velivolo ricalcolata;
262  - il quarto argomento e' l'angolazione del velivolo ricalcolata;
263  - il quinto argomento e' lo spostamento laterale del velivolo ricalcolato;
264  - il sesto argomento e' lo spostamento verticale del velivolo ricalcolato. */
265
266 derivata_u(V,THETA,V1,THETA1,X1,Y1) :- CG is 9.81,          /* Costante gravitazionale terrestre. */
267           CR is 0.025,         /* Coefficiente di resistenza all'aria. */
268           CP is 1.0,          /* Coefficiente di portanza. */
269           VTRIM is 30.0,        /* Velocita' di trim del velivolo. */
270           V1 is (- (CG * sin(THETA)) - (CR / CP) * CG/VTRIM**2*V**2),
271           THETA1 is (- (CG * cos(THETA) / V) + (CG/VTRIM**2*V)),
272           X1 is (V * cos(THETA)),
273           Y1 is (V * sin(THETA)).
274
275
276 /* Fine sezione fugoide completo */
277
278
279 /* Inizio sezione convezione lineare */
280
281
282 /* Il predicato calc_convezione calcola l'integrazione numerica dell'equazione di convezione
283  lineare a una dimensione:
284  - il primo argomento e' il numero di punti totali della funzione d'onda;
285  - il secondo argomento e' la lunghezza del passo temporale;
286  - il terzo argomento e' l'integrazione numerica completa dell'equazione lineare
287  unidimensionale di convezione. */
288
289 calc_convezione(NX,_,F) :- (NX == 0;
290                               NX == 1),
291           INF is 0.0,           /* Estremo inferiore del dominio spaziale. */
292           SUP is 2.0,           /* Estremo superiore del dominio spaziale. */
293           cond_iniziale_conv(NX,INF,SUP,F).
294 calc_convezione(NX,DT,F) :- NX > 1,
295           NT is 25,             /* Numero complessivo di passi temporali */
296           NX1 is NX - 1,
297           C is 1.0,              /* Velocita' dell'onda. */
298           INF is 0.0,             /* Estremo inferiore del dominio spaziale. */
299           SUP is 2.0,             /* Estremo superiore del dominio spaziale. */
300           DX is abs(SUP - INF) / NX1, /* Distanza tra qualsiasi coppia di
301                                         punti della griglia adiacenti. */
302           cond_iniziale_conv(NX,INF,SUP,ONDA),
303           tempo_conv(0,NT,NX1,C,DX,DT,ONDA,F).
304
305
306 /* Il predicato tempo_conv calcola numericamente l'integrazione della
307  funzione rispetto al parametro temporale DT:
308  - il primo argomento e' il numero di passi temporali che la funzione
309  d'onda ha compiuto;
310  - il secondo argomento e' il numero di passi temporali totali che la
311  funzione d'onda deve compiere;
312  - il terzo argomento e' il numero di passi spaziali utilizzati dal
313  predicato spazio_conv;
314  - il quarto argomento e' la costante di velocità dell'onda;
315  - il quinto argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
316  - il sesto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
317  - il settimo argomento e' la funzione d'onda ricalcolata;
318  - l'ottavo argomento e' la funzione d'onda risultante. */
319
320 tempo_conv(NT,NT,_,_,_,_,F,F).
321 tempo_conv(I,NT,NX1,C,DX,DT,ONDA,F) :- I < NT,
322           I1 is I + 1,
323           testa(ONDA,T),
324           spazio_conv(0,NX1,C,DX,DT,ONDA,F1),
325           inserisci_elem(T,F1,R),
326           tempo_conv(I1,NT,NX1,C,DX,DT,R,F).
327
328
329 /* Il predicato spazio_conv calcola numericamente l'integrazione della
330  funzione rispetto al parametro spaziale DX:
331  - il primo argomento e' il numero di passi temporali che la funzione
332  d'onda ha compiuto;

```

```

333 - il secondo argomento e' il numero di passi temporali totali che la
334 funzione d'onda deve compiere;
335 - il terzo argomento e' la costante di velocità dell'onda;
336 - il quarto argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
337 - il quinto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
338 - il sesto argomento e' la funzione d'onda;
339 - il settimo argomento e' la funzione d'onda ricalcolata con
340 passo_eulero_conv. */
341
342 spazio_conv(NX1,NX1,_,-,-,-,[]).
343 spazio_conv(I,NX1,C,DX,DT,[E0|LX],[E|T]) :- I < NX1,
344                                     I1 is I + 1,
345                                     testa(LX,E1),
346                                     passo_eulero_conv(E0,E1,C,DX,DT,EU),
347                                     E is EU,
348                                     spazio_conv(I1,NX1,C,DX,DT,LX,T).
349
350
351 /* Il predicato passo_eulero_conv effettua il passo di Eulero:
352 - il primo argomento e' l'elemento corrente della lista;
353 - il secondo argomento e' l'elemento successivo a quello corrente della lista;
354 - il terzo argomento e' la costante di velocità dell'onda;
355 - il quarto argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
356 - il quinto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
357 - il sesto argomento e' il valore risultante del punto applicato il passo di Eulero. */
358
359 passo_eulero_conv(E0,E1,C,DX,DT,EU) :- EU is E1 - C * (DT/DX) * (E1 - E0).
360
361
362 /* Il predicato cond_iniziale_conv calcola la condizione iniziale (una funzione)
363 per l'integrazione numerica dell'equazione di convezione:
364 - il primo argomento e' il numero di punti della griglia spaziale;
365 - il secondo argomento e' l'estremo inferiore del dominio spaziale;
366 - il terzo argomento e' l'estremo superiore del dominio spaziale;
367 - il quarto argomento e' la funzione d'onda quadra. */
368
369 cond_iniziale_conv(NX,INF,SUP,ONDA) :- gen_punti_equi(NX,INF,SUP,L),
370                                     onda_quadra(L,ONDA).
371
372
373 /* Il predicato onda_quadra calcola la funzione d'onda quadra:
374 - il primo argomento e' la lista di punti equidistanti del dominio spaziale;
375 - il secondo argomento e' la funzione d'onda calcolata. */
376
377 onda_quadra([],[]).
378 onda_quadra([X|L1],[OSI|T]) :- X >= 0.5,
379                                     X <= 1.0,
380                                     OSI is 2.0, /* Valori assunti dalla parte alta (superiore)
381                                         della funzione d'onda quadra. */
382                                     onda_quadra(L1,T).
383 onda_quadra([X|L1],[OSI|T]) :- (X < 0.5;
384                                     X > 1.0),
385                                     OSI is 1.0, /* Valori assunti dalla parte bassa (inferiore)
386                                         della funzione d'onda quadra. */
387                                     onda_quadra(L1,T).
388
389
390 /* Fine sezione convezione lineare */
391
392
393 /* Inizio sezione equazione di Burgers */
394
395
396 /* Il predicato calc_burgers calcola l'integrazione numerica dell'equazione di Burgers
397 a una dimensione:
398 - il primo argomento e' il numero di punti totali della funzione d'onda;
399 - il secondo argomento e' l'integrazione numerica completa dell'equazione
400 unidimensionale di Burgers.*/
401
402 calc_burgers(NX,F) :- (NX == 0;
403                         NX == 1),
404                         INF is 0.0, /* Estremo inferiore del dominio spaziale. */
405                         SUP is 2.0 * pi, /* Estremo superiore del dominio spaziale. */
406                         cond_iniziale_burg(NX,INF,SUP,F).
407 calc_burgers(NX,F) :- NX1 is NX - 1,
408                         T is 0.6, /* Tempo totale di simulazione. */
409                         S is 0.1, /* Costante di Courant-Friedrichs-Lowy (CFL). */
410                         NU is 0.07, /* Coefficiente di diffusione. */
411                         INF is 0.0, /* Estremo inferiore del dominio spaziale. */
412                         SUP is 2.0 * pi, /* Estremo superiore del dominio spaziale. */
413                         DX is abs(SUP - INF) / NX1, /* Distanza tra qualsiasi coppia di punti
414                                         della griglia adiacenti. */
415                         DT is S * DX^2 / NU, /* Lunghezza del passo temporale. */
416                         NT is floor(T/DT), /* Numero complessivo di passi temporali */

```

```

417         cond_iniziale_burg(NX,INF,SUP,ONDA),
418         tempo_burg(0,NT,NX1,NU,DX,DT,ONDA,F).
419
420
421 /* Il predicato tempo_burg calcola numericamente l'integrazione della funzione
422 rispetto al parametro temporale DT:
423 - il primo argomento e' il numero di passi temporali che la funzione
424 d'onda ha compiuto;
425 - il secondo argomento e' il numero di passi temporali totali che la
426 funzione d'onda deve compiere;
427 - il terzo argomento e' il numero di passi spaziali utilizzati dal
428 predicato spazio_burg;
429 - il quarto argomento e' il coefficiente di diffusione;
430 - il quinto argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
431 - il sesto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
432 - il settimo argomento e' la funzione d'onda ricalcolata;
433 - l'ottavo argomento e' la funzione d'onda risultante. */
434
435 tempo_burg(NT,NT,_,_,_,_,F,F).
436 tempo_burg(I,NT,NX1,NU,DX,DT,ONDA,F) :- I < NT,
437             I1 is I + 1,
438             bordo1(ONDA,NU,DX,DT,B1),
439             spazio_burg(1,NX1,NU,DX,DT,ONDA,Z),
440             inserisci_elem(B1,Z,R),
441             tempo_burg(I1,NT,NX1,NU,DX,DT,R,F).
442
443
444 /* Il predicato spazio_burg calcola numericamente l'integrazione della
445 funzione rispetto al parametro spaziale DX:
446 - il primo argomento e' l'indice per accedere agli elementi della
447 lista, viene utilizzato da passo_eulero;
448 - il secondo argomento e' il numero di punti della funzione;
449 - il terzo argomento e' il coefficiente di diffusione;
450 - il quarto argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
451 - il quinto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
452 - il sesto argomento e' la funzione d'onda;
453 - il settimo argomento e' la funzione d'onda ricalcolata con
454 il passo_eulero_burg e bordo2. */
455
456 spazio_burg(NX1,NX1,NU,DX,DT,ONDA,[F]) :- bordo2(ONDA,NU,DX,DT,F).
457 spazio_burg(I,NX1,NU,DX,DT,ONDA,[E|F]) :- I < NX1,
458             I1 is I + 1,
459             passo_eulero_burg(ONDA,I,NU,DX,DT,E),
460             spazio_burg(I1,NX1,NU,DX,DT,ONDA,F).
461
462
463 /* Il predicato bordo1 calcola le condizioni di bordo inferiore della funzione:
464 - il primo argomento e' la funzione d'onda;
465 - il secondo argomento e' il coefficiente di diffusione;
466 - il terzo argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
467 - il quarto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
468 - il quinto argomento e' il valore del punto estremo inferiore della funzione.
469 L'uso di last e testa consente di selezionare gli elementi in coda e in testa
470 alla funzione per il calcolo della condizione di bordo. */
471
472 bordo1([X|LX],NU,DX,DT,B1) :- last(LX,C),
473             testa(LX,T),
474             B1 is X - X*DT/DX * (X - C) + NU*DT/DX^2 * (T - 2*X + C).
475
476
477 /* Il predicato bordo2 calcola le condizioni di bordo superiore della funzione:
478 - il primo argomento e' la funzione d'onda;
479 - il secondo argomento e' il coefficiente di diffusione;
480 - il terzo argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
481 - il quarto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
482 - il quinto argomento e' il valore del punto estremo superiore della funzione.
483 L'uso di last, testa e penultimo consente di selezionare l'ultimo, il primo e
484 il penultimo elemento della funzione per il calcolo della condizione di bordo. */
485
486 bordo2(ONDA,NU,DX,DT,B2) :- last(ONDA,C),
487             penultimo(ONDA,P),
488             testa(ONDA,T),
489             B2 is C - C*DT/DX * (C - P) + NU*DT/DX^2 * (T - 2*C + P).
490
491
492 /* Il predicato passo_eulero_burg effettua il passo di Eulero:
493 - il primo argomento e' la funzione d'onda;
494 - il secondo argomento e' l'indice dell'elemento corrente della lista;
495 - il terzo argomento e' il coefficiente di diffusione;
496 - il quarto argomento e' la lunghezza del passo spaziale;
497 - il quinto argomento e' la lunghezza del passo temporale;
498 - il sesto argomento e' il valore risultante del punto applicato il passo di Eulero.
499 L'uso del predicato nth consente di accedere agli elementi della lista tramite
500 indice. Gli elementi sono indicizzati da 1 a N. */

```

```

501
502 passo_eulero_burg(ONDA,IO,NU,DX,DT,EU) :- I1 is IO + 1,
503                                     I2 is I1 + 1,
504                                     nth(IO,ONDA,EO),
505                                     nth(I1,ONDA,E1),
506                                     nth(I2,ONDA,E2),
507                                     EU is E1 - E1*DT/DX * (E1 - EO) + NU*DT/DX^2 * (E2 - 2*E1 + EO).
508
509
510 /* Il predicato cond_iniziale_burg calcola la condizione iniziale (una
511    funzione) per il calcolo numerico dell'equazione di Burgers:
512    - il primo argomento e' il numero di punti della griglia spaziale;
513    - il secondo argomento e' l'estremo inferiore del dominio spaziale;
514    - il terzo argomento e' l'estremo superiore del dominio spaziale;
515    - il quarto argomento e' la funzione "onda a dente di sega". */
516
517 cond_iniziale_burg(NX,INF,SUP,ONDA) :- gen_punti_equi(NX,INF,SUP,L),
518                                         onda_dente_sega(L,ONDA).
519
520
521 /* Il predicato onda_dente_sega calcola la funzione d'onda a dente di sega 'u':
522    - il primo argomento e' la lista di punti equidistanti del dominio
523      spaziale;
524    - il secondo argomento e' la funzione d'onda calcolata.
525    Per il calcolo dell'onda si fa uso dei predicati phi e phi_primo
526    che sono rispettivamente la funzione e la sua derivata. */
527
528 onda_dente_sega([],[]).
529 onda_dente_sega([X|LX],[U|LU]) :- T0 is 0.0,
530                                     NU is 0.07,
531                                     phi_primo(X,T0,NU,F1),
532                                     phi(X,T0,NU,F2),
533                                     U is -2*NU*(F1 / F2)+4,
534                                     onda_dente_sega(LX,LU).
535
536 phi_primo(X,T0,NU,F) :- F is -( -8*T0 + 2*X)*exp(-((-4*T0 + X)^2)/(4*NU*(T0 + 1)))/(4*NU*(T0 + 1)) - (-8*T0 +
537                                     2*X - 4*pi)*exp(-((-4*T0 + X - 2*pi)^2)/(4*NU*(T0 + 1)))/(4*NU*(T0 + 1)).
538
539 phi(X,T0,NU,F) :- F is exp(-((X-4*T0)^2)/(4*NU*(T0+1))) + exp(-((X-4*T0-2*pi)^2)/(4*NU*(T0+1))).
540
541
542 /* Fine sezione equazione di Burgers */
543
544
545 /* Inizio sezione funzioni condivise */
546
547
548 /* Il predicato gen_punti_equi genera una lista di punti equidistanti tra loro:
549    - il primo argomento e' il numero di punti che si vuole generare;
550    - il secondo argomento e' l'estremo inferiore della lista di punti;
551    - il terzo argomento e' l'estremo superiore della lista di punti;
552    - il quarto argomento e' la lista di punti equidistanti.
553    Per il calcolo dei punti si fa uso del predicato calc_punti. */
554
555 gen_punti_equi(0,_,_,[]).
556 gen_punti_equi(N,INF,SUP,L) :- N > 0,
557                                     DST is abs(SUP - INF),
558                                     N1 is N - 1,
559                                     ((SUP > INF,
560                                       calc_punti(0,N1,INF,DST,L));
561                                     (calc_punti(0,N1,SUP,DST,L1),
562                                       reverse(L1,L))).
563
564
565 calc_punti(N1,N1,INF,_,[INF]).
566 calc_punti(I,N1,INF,DST,[INF|L]) :- I < N1,
567                                     I1 is I + 1,
568                                     INF1 is INF + (DST/N1),
569                                     calc_punti(I1,N1,INF1,DST,L).
570
571 /* Predicato che inserisce un elemento in testa alla lista. */
572
573 inserisci_elem(X,L,[X|L]).
574
575
576 /* Predicato che estrae la lista di elementi successivi al primo. */
577
578 estrai_lista([_|LX],LX).
579
580
581 /* Predicato per estrarre il primo elemento di una lista. */
582
583 testa([_|_],X).
584
```

```

585  /* Predicato che restituisce il penultimo elemento di una lista. */
586
587  penultimo(LX,X) :- reverse(LX,LXInv),
588      estrai_lista(LXInv,Y),
589      testa(Y,X).
590
591
592  /* Predicato per aggiungere un elemento alla fine di una lista. */
593
594  accoda_elem(X,[],[X]).           % Base case
595  accoda_elem(X,[Y|L],[Y|LX]) :-  % Inductive step
596      accoda_elem(X,L,LX).
597
598
599  /* Fine sezione funzioni condivise */

```

5 Testing

5.1 Haskell

Test 1

```

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
| Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: -5
Acquisizione errata!
Il valore deve essere un numero naturale.
Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 100
[2.537825980164333, 2.5774635292715917, 2.61710107721347, 2.656738608716373, 2.6963759352420498, 2.736012966011584, 2.7756495287983616, 2.8152853722295843, 2.854920
131265235, 2.8945532832835124, 2.9341840924832963, 2.9738115409029056, 3.013434245078265, 3.0530503584023254, 3.09265746069832, 3.13225243816461, 3.1718313611743922,
3.211389362976298, 3.2509205391671836, 3.2904178727213695, 3.329873205461959, 3.3692772708399277, 3.4086198045315554, 3.447889746946439, 3.487075547488322, 3.52616557
3971027, 3.565148622103572, 3.604014509864235, 3.64275473064873, 3.6813631283736252, 3.7198365485475935, 3.7581754130997096, 3.796384164807898, 3.834471530536341, 3.87
24505616798967, 3.9103384250163393, 3.948155936600247, 3.9859268534865238, 4.023676960682313, 4.0614330108568115, 4.099221589534009, 4.137067986582411, 4.174995154672
836, 4.213022826959251, 4.2511668506558715, 4.289438772489547, 4.327845688844517, 4.3663963505872215, 4.4050714925905075, 4.443884342789181, 4.482821256305171, 4.52187
241704166, 4.561026551660163, 4.6002716079442605, 4.639595359793142, 4.678985912937524, 4.718432697474544, 4.757923744247111, 4.797451851014236, 4.837008650624908, 4.8
76587596546055, 4.916183280544297, 4.9557912919647045, 4.99540801442349, 5.035030329756987, 5.074655138113076, 5.114278485431834, 5.1538938248139, 5.193488374654201, 5
.233035309006789, 5.272476850138336, 5.31168754538108, 5.350394468348167, 5.3880040266101865, 5.423227236589644, 5.453274337330392, 5.472148504316077, 5.4671446638723
98, 5.412183765315732, 5.257413306490136, 4.922492502452091, 4.329515362760938, 3.533568441198731, 2.803259325756947, 2.34624598099903, 2.134810078470153, 2.062664573
8837204, 2.055256271699049, 2.0755301911957758, 2.10725904901399, 2.1436722701026976, 2.181994724323144, 2.22109532101176004, 2.260513436500272, 2.3000613056481862, 2.3
39662707248342, 2.379284984717219, 2.418916610254246, 2.458551882606973, 2.498188637784255]
*Main> □

```

Test 2

```

*Main: main
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele
-----
| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale      = 100m,
| velocita' iniziale       = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 0
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.9
[100.0, 109.0, 118.0, 126.284851, 137.905336454689, 140.037978728134, 139.15862506155295, 135.09781356725566, 127.9254185669423, 117.96411620276123, 105.7838
3215383236, 92.17610146731589, 78.10878169402375, 64.66315672203721, 52.95702984786186, 44.0588038773936706, 38.1886593581906, 38.18365822408268, 42.32383071871357, 51.
2954, 196.1251263435542, 193.021995274571, 182.28065875052948, 164.1477014599745, 139.47664074444373, 109.70833952320189, 76.80318495176581, 43.12659601347659, 11.57
3249195735188, 16.028880067833243, -36.2862822057439, -47.33254919258446, -47.5493719098744, -36.05900293417239, -12.8442131318003415, 21.18196073031783, 64.174848813
392709953146, 246.79981112227023, 185.82072981375313, 113.17678871364933, 73.13446601814994, -46.796936317994835, -122.04012341823137, -185.6186791617037, -231.55370
465828511429, 251.68707499572778, -220.3887444846871, 161.14500730741088, -76.44286010463694, 29.010130523791176, 148.48344725899386, 273.5976900
264556, 394.8593895636503, 502.32684306856027, 586.364474619353, 638.4328128930749, 651.8541436490684, 622.4910646597652, 549.2771035619635, 434.54547997523207, 284.11
38484623635, 107.09889856518296, -84.5459218446654, -276.7548278334018, -454.29953032643925, -601.9069174450067, -705.469109584305, -753.2570761565056, -737.041661812
87.1343491005432, 1400.5199703972792, 1419.574709180137, 1335.288830595265, 1146.148226044213, 858.85033572524, 488.4244612165678, 57.695801808323, -403.88989696763
29, -862.1181404568472, -1280.3067888431165, -1622.0445676705442, -1854.101788749709, -1949.3236264372047, -1889.2705818888596, -1666.376232660188, -1285.412453724045
5, -764.0906529644918]

-----| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale      = velocita' di trim,
| angolo iniziale          = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| velocita' di trim        = 30m/s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza   = 1N.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 0
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 2
[[0.0,1000.0],[60.0,1000.0],[119.019,1000.0],[177.0753161528625,998.7479065269398],[234.95290201868244,995.0279962983323],[294.2079776547,988.6508135495146],[356.6408893226095,981.61382045273],[422.71217097668,987.2472186345444],[489.3577382778975,983.0875459069244],[550.774291291718,997.0996310307462],[616.138142753585,965.559121641714],[771.7717817
88374986,1012.8544020596123],[640.866735197858,1019.07606715052474],[672.884351677708,1007.0996310307462],[696.138142753585,965.559121641714],[771.7717817
4609.889,762463917798],[848.543639752847,862.4564031301369],[1952.4697900084046,924.4426404782211],[951.7437040215162,1021.357034896272],[903.475293873656,1
047.9695391385167],[876.9112199972899,1024.6514623827059],[898.8852466786192,967.868229205278],[968.1145693846772,990.67710744018071],[1089.375147235289,899.9
725854324484],[1154.19250607375753,997.596015151746],[1114.1645149691585,1068.194875176948],[1069.042301398016,1065.1185270097287],[1062.2427377384595,1018.2
707222011862],[1102.579441319405,942.8144007206356],[1213.0317028695,900.8018768563852],[1317.8934615980143,974.755816536983],[1298.5601345930577,1074.10720
605160652],[1239.86400816869153,1086.0853302988357],[1216.39658238251166,1040.7130653834372],[1252.107941275579,963.3310788512013],[1361.4869505574975,916.77591
6051220162],[1469.8636453073436,989.277139635573033,1091.[1450.23975537033,1091.347757927018],[1388.750186969932,1102.3234937802629],[1365.1339498602542,1053.20241405
20907],[1404.5031456686606,973.3178536840775],[1519.7313847816527,932.9533996258536],[1620.7221053829408,1016.4023678696908],[1589.149806496877,1112.6916757
63468],[1527.9257231590086,1114.4577668843155],[1510.939231444575,1057.848438070314],[1560.4428491210192,975.9110604182742],[1684.838518113813,951.235348653
3109],[1767.412151292025,1051.73550852551],[1718.6201225574137,1133.495437240574],[1855.538179560281,977.7437589502833]]
```

```

| Calcolo dell'equazione di convezione lineare a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
valore della parte alta della funzione = 2.0,
valore della parte bassa della funzione = 1.0.
Parametri di simulazione:
numero di passi temporali da effettuare = 25,
velocita' dell'onda = 1.0.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda,
un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
Passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 0
[]

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 0
[]

*Maint> □

```

Test 3

```

gabriele@gabriele-AMIGO-LI-2727:~/Documenti/III-anno/PLF/project/consegna/hs/src$ ghci
GHCi, version 8.6.5: http://www.haskell.org/ghc/ :? for help
Prelude :load simulazioni_numeriche.hs
[1 of 1] Compiling Main           ( simulazioni_numeriche.hs, interpreted )
Ok, one module loaded.
*Main> main
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele
-----
| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale      = 100m,
| velocita' iniziale        = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione   = 100s,
| costante gravitazionale   = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.
-----
Digita lunghezza del passo temporale: 1
[100.0, 110.0, 120.0, 129.019, 136.076, 140.2862361, 140.9574166, 137.675173385997, 130.37769550871997, 119.38280732793429, 105.40786721774319, 89.53147370868173, 73.12456842555967, 57.744625571615934, 45.00116255512479, 36.402951770085124, 33.26012693833372, 36.23617253796661, 45.825285684948966, 61.669630305956794, 82.82851440127145, 107.74760777635711, 134.35122386310638, 160.1947964103533, 182.66852035799354, 199.2371312301662, 207.6959602552197, 206.41962670659387, 194.578319456931, 172.29724682735127, 140.73804105904662, 102.0864753769788, 59.4385078670185, 16.585857122576584, -22.28771243619846, -52.79835219354104, -71.67256867046312, 75.35960879719883, -62.2055699373621, -31.848753454520164, 14.4204249439177, 73.6239750467626, 141.22287652636493, 211.40926605387983, 277.55169139415835, 332.7648677345513, 370.56022314917726, 385.52134583904375, 373.9405090379579, 334.35002908857797, 267.88598520255454, 178.4322034629416, 72.50880657495807, -41.10878947274003, -152.0294994454415, -249.10743717086717, -321.46128100069507, -359.56768524406084, -356.3287378212584, -308.06620047601365, -214.91781395050344, -81.80401915829628, 82.20321318245527, 264.0454198026357, 447.6334912096173, 615.1287069339603, 748.5210771706398, 831.3793212570979, 858.6176476731162, 798.1076626738131, 671.962086437774, 477.3321484934406, 226.59272986955784, -61.16297252153146, -361.3374217128244, -645.701783297551, -884.8089438166577, -1050.7627593918542, 1120.1068175786365, -1076.561049069078, -913.3228017550554, -634.663915527356, -256.59806244748586, 193.53832074561797, 678.6569738648202, 1154.5995177188772, 1573.7758124367954, 1889.4958944664918, 2060.6385692961385, 2056.231696878622, 1859.4861808131548, 1470.834352838947, 909.576895416864, 213.84060725848315, -561.3151743402921, -1347.6387195111245, -2069.0872460791743, -2648.522414263183, -3015.1701236068243, -3112.187784112473, 2903.607255489841, -2379.911105247121, -1561.561083240848]
-----
| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale      = velocita' di trim,
| angolo iniziale          = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione   = 100s,
| velocita' di trim         = 30m/s,
| costante gravitazionale   = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza    = 1N.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.
-----
Digita lunghezza del passo temporale: 2
[[0.0, 1000.0], [60.0, 1000.0], [119.019, 1000.0], [177.0753161528625, 998.7479065269398], [234.95290201868244, 995.0279962983323], [294.2079776547, 988.6508135495146], [356.64088932269095, 981.613820454273], [422.71217897668, 978.4372186345444], [489.3357738277895, 983.8075459069244], [550.2472491291718, 997.6722602327661], [608.70988374986, 1012.8544020596123], [640.8667355197858, 1019.0706715052474], [672.8843351677708, 1007.0996310307462], [696.138142753585, 965.559121641714], [743.7711787154689, 899.76224371677981], [848.5436839752847, 862.4564031301369], [952.4697900084046, 924.4426404787221], [951.7437048215162, 1021.357034896272], [983.4752938973656, 1047.9695391385167], [876.9112199972899, 1024.654162827059], [898.8852466786192, 967.6682229205278], [968.1145693846772, 900.6771074401807], [1089.375147235289, 899.3725054324484], [1154.1925060735753, 997.5960151511746], [1114.1645149691585, 1068.1948751768948], [1069.042301398016, 1065.1185270097287], [1062.2427377384595, 1018.2707222011862], [1102.5794411319405, 942.8144007206356], [1213.0310728695, 900.8018768563052], [1317.8934615980143, 974.7558516536983], [1298.5601345930577, 1074.1072050306052], [1239.8640081869153, 1086.0853302888357], [1216.3965822557166, 1040.7130053834372], [1252.107941275579, 963.3310788512013], [1361.4869505574975, 916.7759126051286], [1469.8636453073436, 989.27105801111], [1450.239963573033, 1091.347757927018], [1388.750189669932, 1102.3234937802629], [1365.1339498602542, 1053.2024140520907], [1404.5031456686006, 973.3178536840775], [1519.7331847816527, 932.9533996258536], [1620.7221053820408, 1016.4023678696908], [1589.1490806496877, 1112.6916675763468], [1527.9257231590086, 1114.4527668843155], [1510.939231444575, 1057.8484380703314], [1560.4428491210192, 975.9110604182742], [1684.8385184113813, 951.2353486533109], [1767.4121512902025, 1051.7355085825511], [1718.6201225574137, 1133.414562605696], [1661.0051497710358, 1120.7576979457833], [1656.8968827343122, 1054.4247038847125], [1724.091734440987, 974.4954372420574], [1855.5381759650281, 977.7347589502833]]

```

```

| Calcolo dell'equazione di convezione lineare a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
valore della parte alta della funzione = 2.0,
valore della parte bassa della funzione = 1.0.
Parametri di simulazione:
numero di passi temporali da effettuare = 25,
velocita' dell'onda = 1.0.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda,
un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
Passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permesso una simulazione piu' accurata.
Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 1
[1.0]

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 1
[4.0]
*Main> □

```

Test 4

```

*Main> main
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele

| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale = 100m,
| velocita' iniziale = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 12
[100.0, 220.0, 340.0, -1235.168000000001, -6200.672000000004, 7694.941235200004, 110596.36741120002, 106208.61572227065, -1459095.0205642348, -4523331.405989825, 1.30
2560474083195e7]

| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale = velocita' di trim,
| angolo iniziale = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| velocita' di trim = 30m/s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza = 1N.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 1000
[[0.0,1000.0],[30000.0,1000.0],[-185250.0,1000.0]]

```

```

| Calcolo dell'equazione di convezione lineare a una dimensione
| Parametri iniziali:
| estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
| estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
| valore della parte alta della funzione = 2.0,
| valore della parte bassa della funzione = 1.0.
| Parametri di simulazione:
| numero di passi temporali da effettuare = 25,
| velocita' dell'onda = 1.0.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda,
| un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
| Passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 21
Digita lunghezza del passo temporale: 0.3
[1.0,1.0,1.0,1.0,-3.355443099999814e7,1.2247367689999921e9,-2.1424504830999878e10,2.3904177356899863e11,-1.9098050232309897e12,1.1627929796608943e13,-5.6
060710748158734e13,2.1952763265024e14,-7.105646238105556e14,1.92450604760678318e15,-4.398132035911658e15,8.52538300858364e15,-1.4046770681118654e16,1.963740326
289396e16,-2.3095034961592216e16,2.2298447915458464e16]

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
| estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
| estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
| Parametri di simulazione:
| tempo finale di simulazione = 0.6s,
| coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
| costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 35
[2.6001482895404073,2.8221091064914816,2.962953297613654,2.9749647809670834,3.2484421169296973,2.8159437723321434,3.24132138550074,2.107361
386453394,2.5450870348641375,0.3044484326650155,4.601443650646277,3.86576717322105,3.965957770973071,4.123027096713016,-18.960128327971468,-1248433,8128351818
,-3.804357859364016e14,-3.0124628025220063e30,-6.395918102872413e37,1.2879266971536558e37,-6.0191394754733475e34,3.651950130449536e29,-5.681241870769029e20,7.
947504686262198e9,308.23526035403484,2.30693329042999,1.7591741760237762,1.808382513565976,1.9125403480077081,2.0264424975757325,2.1412850466745192,2.256133
258059738,2.3709518498734257,2.485904035864941]

*Main> []

```

Test 5

```

*Main> main
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele

| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale = 100m,
| velocita' iniziale = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 10
[100.0,200.0,300.0,-581.000000000001,-3424.0,413.610000000015,38821.66,74153.1958999999,-270374.7528000001,-1341364.553279,241002.9712100008,1.498313776336
5993e7,2.7362014407951877e7]

| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale = velocita' di trim,
| angolo iniziale = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| velocita' di trim = 30m/s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza = IN.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 0
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: -0.12
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 8
[[0.0,1000.0],[240.0,1000.0],[464.304,1000.0],[661.8291605053547,926.9684812146279],[934.9880535512357,612.9035274262772],[175.9321251459262,979.0533385465704
],[552.3135257720041,972.5694455565665],[290.95541475897693,1203.3063985087913],[262.7914313284634,1107.348228645912],[532.507493990252,455.8092136782715],[-8
54.1058994634004,146.19756327513244],[500.6672714567444,1760.7291236185406],[-2209.030853254841,2601.577701321431],[-6668.691673528916,709.1348558007492],[-16
83.4944242471993,11056.201849079931]]

```

```

Calcolo dell'equazione di convezione lineare a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
valore della parte alta della funzione = 2.0,
valore della parte bassa della funzione = 1.0.
Parametri di simulazione:
numero di passi temporali da effettuare = 25,
velocita' dell'onda = 1.0.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda,
un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
Passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 50
Digita lunghezza del passo temporale: -2
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 0
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 2
[1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,-1.0740659143269653e42,2.633699127422579e43,-3.0944845928554555e44,2.318539060025998e45,-1.24365158661086
05e46,5.082578212969349e46,-1.644417596615775e47,4.320287207184026647,-9.379894139943642e47,1.703735368828876e48,-2.6110817763020997e48,3.39533981772282e48
3732152412968e47,9.204527913408536e47,-1.700322515826971e48,2.6106062796725456e48,-3.395297572195464e48,3.758139657260973e48,-3.5443706776368296e48,2.84532743
9055659e48,-1.9380715677460786e48,1.1138366527394053e48,-5.355402164200293e47,2.127881779208254e47,-6.865550547710572e46,1.753662256351069e46,-3.4128530019169
08e45,4.754966295450333e44,-4.2245576818105723e43,1.7984650426474192e42]

Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 0
[]
*Main> []

```



```

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 70
[2.5603251504886444, 2.617313087551845, 2.6743003361134736, 2.7312862727233584, 2.788269923495047, 2.8452497337409888, 2.902223270300385, 2.9591868278009406, 3.016134
9235423116, 3.1299501094113285, 3.1867913561671, 3.243563958494142, 3.300243264764144, 3.356799148438868, 3.4131962073448157, 3.4693946363673285, 3
.525351939200582, 3.581025579381527, 3.6363765584417296, 3.6913737523816272, 3.7459986515297796, 3.8002499621472, 3.8541473830426445, 3.9077338162177715, 3.9610753513
724095, 4.014258602704632, 4.06738535820285, 4.1205649666356585, 4.173905337511415, 4.227503751827029, 4.2814387841786585, 4.335764480210162, 4.390507546605556, 4.4456
67783818734, 4.501221447316082, 4.557126776745785, 4.613330672978982, 4.669775450274559, 4.726404737843244, 4.783167879284047, 4.840022496383366, 4.8969351283844125,
4.953879863126045, 5.010834317637192, 5.06777039785781, 5.124631772478481, 5.1812748045790835, 5.2373076720637135, 5.291646162919132, 5.3412847832476835, 5.3779117978
485361, 5.37881438511586, 5.284790132888671, 4.95752083948166, 4.183768027460122, 3.092543889197522, 2.3434691794784466, 2.053251159659588, 1.989942863379328, 2.00821
95166430075, 2.0530064478134227, 2.1061652720691257, 2.1619520166584345, 2.218563790090801, 2.2754344970593556, 2.3323865913005015, 2.38936407698239, 2.44634939399497
14, 2.5033370170326315]
*Main> ■

```

Test 7

```

*Main> main
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele

| Calcolo del moto fugoide senza attrito
Parametri iniziali:
altitudine iniziale = 100m,
velocita' iniziale = 10m/s.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 1765
[100.0, 17750.0, 35400.0]

| Calcolo del moto fugoide con attrito
Parametri iniziali:
velocita' iniziale = velocita' di trim,
angolo iniziale = 0rad,
spostamento laterale iniziale = 0m,
spostamento verticale iniziale = 1000m.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
velocita' di trim = 30m/s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
coefficiente di portanza = 1N.
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: -129
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: -2
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 10
[0.0, 1000.0, [300.0, [575.475, [1000.0, [791.5624656516269, 864.9919414233477], [1170.5394792779377, 209.79622282680998], [2567.2963356473438, 598.9909814181
715], [1978.0197754075464, 770.5610190412983], [1998.6431950100541, 534.5962026930658], [2885.893852961458, 1340.8395316462475], [3004.7805496807414, 1428.08703390619
87], [3443.566209721155, 1436.3920967313945], [3800.120018664817, 1125.9184010947315], [4279.75478121953, 50.0828913467648]]]

| Calcolo dell'equazione di convezione lineare a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
valore della parte alta della funzione = 2.0,
valore della parte bassa della funzione = 1.0.
Parametri di simulazione:
numero di passi temporali da effettuare = 25,
velocita' dell'onda = 1.0.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda,
un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
Passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 5
Digita lunghezza del passo temporale: 6
[1.0, -1.0834705943388371e26, 2.8465727433083995e27, -3.5727666705883976e28, 2.8484450065442973e29]

```

```

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: -23
Acquisizione errata!
Il valore deve essere un numero naturale.
Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 123
[2.531443832593343, 2.563622653747175, 2.595801528604663, 2.6279804089739236, 2.660159262404468, 2.692338058796651, 2.7245167621563615, 2.75669532399439, 2.7888736765
561815, 2.8210517248167637, 2.853293364975465, 2.8854063294965955, 2.9175824561886268, 2.949757384106197, 2.981930672594896, 3.014101745166393, 3.046269857471097, 3.0
7843406108895, 3.1105931636991904, 3.1427456866347234, 3.174889821349276, 3.2070233868952855, 3.2391437911057084, 3.271247998739009, 3.3033325103326137, 3.3353933558
494044, 3.3674261073262737, 3.399425914576471, 3.4313875675008307, 3.46330558768655226, 3.495174350700358, 3.526988238834561, 3.558741822091949, 3.59043006300817243, 3.6
22048538573869, 3.653593670501672, 3.6850629528048886, 3.7164551646764314, 3.747770555548941, 3.7790109894973054, 3.810180037147181, 3.8412830953001428, 3.87232689745
53426, 3.9833203021507994, 3.9342732103195636, 3.9651967673269256, 3.9961029696935455, 4.027094320260359, 4.057913458472839, 4.088842784220867, 4.119804940983875, 4.15
08680247928561, 4.181864881616191, 4.21298217833891, 4.24416676711391, 4.2754233325807265, 4.306755195844454, 4.338163762035046, 4.36964892680123, 4.401209171335305, 4
.432841753847383, 4.464542924696, 4.4963081525744775, 4.528132350126408, 4.560010088885794, 4.591935795581304, 4.6239039236912, 4.6559909996762425, 4.687946222746394, 4
.7209241777720502, 4.754209784586593, 4.816326218080236, 4.848460999824979, 4.88606060082023, 4.912759135235289, 4.944918635282347, 4.97708394901995
65, 5.009251177993566, 5.0414220142943975, 5.073594658898648, 5.105768201479777, 5.137941521467913, 5.17011293052769, 5.202279499344106, 5.234435766436636, 5.266571182
848788, 5.298665235628516, 5.33067772511783, 5.36252880936944, 5.394067359325406, 5.4249879737161715, 5.454700849684399, 5.482053057042952, 5.5048830505841234, 5.5186
211886415, 5.515247312113355, 5.4792963723335, 5.383450695907589, 5.3818784401634952, 4.823957870556797, 4.269571332098305, 3.581682766754763, 2.936201498561026, 2
.4818176684923263, 2.229932615680866, 2.115879614577367, 2.077563553964675, 2.076798049564493, 2.0937891450990331, 2.1190035147854576, 2.1479936953961047, 2.178712447
1284165, 2.21022218005219, 2.242094090996528, 2.274132016665058, 2.3062461322931007, 2.338395255884008, 2.370560482433002, 2.402733122571867, 2.4349091776161815, 2.467
08680516406, 2.499265154835873]
*Main> □

```

Test 8

```

*Main> main
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele

| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
altitudine iniziale = 100m,
velocita' iniziale = 10m/s.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: -90
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.876
[100.0, 108.76, 117.52000000000001, 125.62055083014491, 132.402203320576, 137.25515136167104, 139.66887496426617, 139.2780462108894, 135.90096098898448, 129.5670407251
4614, 120.5305109954153, 109.26818669247713, 96.46033402964785, 82.95477611334546, 69.71568278445359, 57.7597468462083, 48.083601758128296, 41.58728542310482, 38.99921
403357401, 40.80842759116296, 47.209755037578745, 58.066999525944176, 72.8982177889316, 90.88624293031368, 110.91442895135973, 131.62867882787083, 151.5213036180996
169, 0.03293457309078, 182.66606314213965, 191.1024210037743, 193.3157118888526, 188.67085027367534, 177.00122053750115, 158.65648593792503, 134.51513136559163, 105.958
1408390999, 57.80286552647502, 43.199063840537335, 43.492091996074043, 11.93892891261287, -30.8576703556413, -41.34969561762037, -41.99809968264536, -31.99117723688975
4, -11.302535479216136, 19.3223474037066978, 58.32603903373422, 103.40311091839146, 151.61738131489977, 199.57546693172074, 243.64781747339887, 280.2241681285395, 305.
98677061192035, 318.18217240348963, 314.8709754643113, 295.1351150012905, 259.2238655478486, 208.62290750110117, 146.03565251579784, 75.2713100671445, 1.0414227742762
99, -22.56387091412955, -235.04011810197014, -223.29840753299916, -186.335015171393683, -125.03385756693, -176.903090851032, -1739.4699205945894, -1665.046383250722, -1452.1483125608293, -1106.3782815750433, -643.7631688299386]
| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
velocita' iniziale = velocita' di trim,
angolo iniziale = 0rad,
spostamento laterale iniziale = 0m,
spostamento verticale iniziale = 1000m.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
velocita' di trim = 30m/s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
coefficiente di portanza = 1N.
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 50
[[0.0,1000.0],[1500.0,1000.0],[2386.875,1000.0],[2824.0242269064747,1511.0888136058693],[20555.28895425848,5086.597929937973]]

```

Test 9

*Main> main
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele

Calcolo del moto fugoide senza attrito
Parametri iniziali:
altitudine iniziale = 100m,
velocita' iniziale = 10m/s.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 5.012
[100.0, 150.12, 200.24, 126.84997934483201, -193.56008262067198, -580.136176179772, -243.29623087191226, 1769.5938574585052, 4628.4640847719875, 3372.9773324278162, -9041.940637920638, -2952.41124059264, -27474.52436086445, 47571.45956716, 190568.9613245647, 216583.203862304, -226772.57250189965, -1203604.90474266018, -1621358.3041061945, 927161.5935670398, 7471418.694585241, 1.1731130772257913e7]

Calcolo del moto fugoide con attrito
Parametri iniziali:
velocita' iniziale = velocita' di trim,
angolo iniziale = 0rad,
spostamento laterale iniziale = 0m,
spostamento verticale iniziale = 1000m.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
velocita' di trim = 30m/s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
coefficiente di portanza = 1N.
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: -1.02
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 9
[[0.0, 1000.0], [270.0, 1000.0], [520.1347499999999, 1000.0], [729.9893224155278, 898.5616594264133], [1044.6897968458243, 430.41056032594815], [677.8181515204399, -645.6098793169588], [256.3792336971636, -2123.4567214966407], [-1048.7477796875964, -1101.9376484251725], [-1249.642668296551, -734.1380213440418], [-1347.98552626632, -1045.0938463583657], [-1364.767263894925, 67.52395542238264], [-1657.7770603561469, 654.0403644351672], [-1666.52449902634, 715.3483417780642], [-973.429896673571, 507.2207748976873]]

Test 10

```
*Main> main
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele

-----| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale      = 100m,
| velocita' iniziale        = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione  = 100s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

-----| Digita lunghezza del passo temporale: -12.0
| Acquisizione errata!
| Il valore deve essere maggiore di zero.
| Digita lunghezza del passo temporale: 0
| Acquisizione errata!
| Il valore deve essere maggiore di zero.
| Digita lunghezza del passo temporale: 123
[100.0,1330.0,2560.0]

-----| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale          = velocita' di trim,
| angolo iniziale              = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione     = 100s,
| velocita' di trim            = 30m/s,
| costante gravitazionale     = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza      = 1N.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

-----| Digita lunghezza del passo temporale: 23
[[0.0,1000.0],[690.0,1000.0],[1250.26279197684],[1405.2362518459954,-4577.067502621624]]
```

```
| Calcolo dell'equazione di convezione lineare a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
valore della parte alta della funzione = 2.0,
valore della parte bassa della funzione = 1.0.
Parametri di simulazione:
numero di passi temporali da effettuare = 25,
velocita' dell'onda = 1.0.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda,
un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
Passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.
```

```
Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 2
Digita lunghezza del passo temporale: 0.2
[1.0,1.0]
```

```
| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
```

```
Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 3
[4.0,4.0,4.0]
*Mai> □
```

5.2 Prolog

Test 1

```

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
| Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: -5.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere un numero naturale.
Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 100.
[2.537825980164333, 2.5774635292715917, 2.617101077221347, 2.6567386087163731, 2.6963759352420498, 2.7360129660115842, 2.7756495287983616, 2.8152853722295843, 2.854920131265235, 2.8945532832835124, 2.9341840924832963, 2.9738115409029056, 3.013434245078265, 3.0530503584023254, 3.0926574606983199, 3.1322524384164612, 3.1718313611743922, 3.211389362976298, 3.2509205391671836, 3.2904178727213695, 3.3298732054619591, 3.3692772708399277, 3.4086198045315554, 3.4478897469464389, 3.4870755474883222, 3.5261655739710269, 3.565148622103572, 3.64275473064873, 3.6813631283736252, 3.7198365485475935, 3.7581754130997096, 3.7963841648078982, 3.8344715305363408, 3.8724505616799067, 3.9103384250163393, 3.948155936600247, 3.9859268534865238, 4.0236769606823133, 4.0614330108568115, 4.0992215895340092, 4.1370679865824114, 4.1749951546728363, 4.2130228269592509, 4.2511668506558715, 4.2894387724895466, 4.3278456888445174, 4.3663903505872215, 4.4050714925965075, 4.4438843427891808, 4.4828212563051713, 4.52187241704166, 4.5610265516601629, 4.6002716079442605, 4.6395953597931419, 4.6789859129375238, 4.718432097474544, 4.757923744247111, 4.7974518510142357, 4.8370086506249077, 4.876587596546055, 4.9161832805442973, 4.9557912919047045, 4.9954080144234903, 5.0350303297569869, 5.0746551381130756, 5.1142784854318339, 5.1538938248138999, 5.1934883746542013, 5.2330353090067891, 5.2724768501383359, 5.3116875453810799, 5.350394468348167, 5.3880940266101865, 5.4232272365896437, 5.4532743373303916, 5.4721485043160767, 5.4671446638723982, 5.4121837653157323, 5.2574133064901361, 4.9224925024520907, 4.3295153627609384, 3.5335684411987311, 2.8032259325756947, 2.3462459809990301, 2.1348100784701529, 2.0626645738837204, 2.055256271099049, 2.0755301911957758, 2.1072596490139902, 2.1436722701026976, 2.1819947243231441, 2.2210953210117004, 2.2605134365002719, 2.3000613056481862, 2.3396622707248342, 2.3792849847172191, 2.4189166102542461, 2.4585518826069732, 2.498188637784255]

true ?

(59 ms) yes
| ?- []

```

Test 2

```
| ?- main.
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele
-----
| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale      = 100m,
| velocita' iniziale       = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 0.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.9.
[100.0, 109.0, 118.0, 126.284851, 133.13940400000001, 137.90533645468901, 140.03797872813399, 139.15862506155295, 135.09781356725566, 127.9254185669423, 117.96411620276
123.105.78383215383236, 92.176101467315888, 78.108781694023747, 64.663156722037215, 52.957029847861861, 44.058803877396706, 38.898659358190599, 38.183658224082677, 42
.32383071871573, 51.375991547200634, 82.51003771436325, 102.78916530315419, 124.45806278512413, 145.90533040294011, 165.40913589378735, 181.26525
792548657, 191.92390460992954, 196.12513263435542, 193.0219952745717, 182.28065875052948, 164.1477014597451, 139.47664074444373, 109.70833952320189, 76.803184951765
815, 125.6596013476593, 11.29349195735108, -16.020880067833243, -36.286282205743902, -47.332549192584459, -47.549371909074402, -36.059002934172391, -12.844213318003
415, 21.18196073017829, 64.174848813109051, 113.43069711429229, 165.5332477539458, 216.56858177020952, 262.39657838667898, 298.96191892711551, 322.62306495236817, 330
.47449793775331, 320.63607955895827, 292.48392709953146, 246.7989112227023, 185.82072981375313, 113.17678871364933, 33.713446601814894, 46.796936317994835, 122.040
123418231176, 148.48344725899386, 273.59769001264556, 394.85938956365032, 502.32684306856027, 586.36447461935302, 638.43281289307492, 651.85414364906842, 622.49106465
976524, 549.1270356196349, 434.545799752307, 284.11384846236348, 107.09889856518296, -84.54592184465401, -276.75482783340181, -454.29953032643925, -601.9069174450
0668, -705.46910958430499, -753.2570761565056, -737.9416181202777, -653.02558693907781, -502.49734457688226, -292.1329360592065, -33.893486027535459, 255.5052392273
9194.555.543274775553, 843.22470850946695, 1094.7082180864404, 1287.1343491065432, 1400.5199703972792, 1419.574709180137, 1355.2888365952565, 1146.1482260442131, 858
.8503572524063, 488.42446121656781, 57.699580180832299, 403.88989696763292, -862.11814645684719, -128.3067888431165, -1622.0445676705442, -1854.1017887497089, -194
9.3236264372047, -1889.2705818888596, 1666.376232660188, -1285.4124537240455, -764.0906529649182]

-----
```

```
| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale      = velocita' di trim,
| angolo iniziale          = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| velocita' di trim        = 30m/s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza   = IN.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 0.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 2.
[[10.0|1000.0], [60.0|1000.0], [119.01900000000001|1000.0], [177.07531615286251|998.747965269398], [234.9529020188244|995.02799629833225], [294.20797765470002|998
.65081354951462], [356.64088932269095|981.61382045427297], [422.71217097668|978.43721863454437], [489.33577382778975|983.80754590692436], [550.24724912917179|997.
67226023276612], [601.7988374985996|1012.8544020596123], [640.8667351978583|1019.0706715052474], [672.88433516777081|1007.0996310307462], [696.13814275358504|96
5.55912216417141], [743.77117871546091|899.76224371677984], [848.54368397528469|862.45640313013689], [952.46979000840463|924.44264047872297], [951.74370402151624|
1021.357034896272], [903.47529389736565|1047.9695391385167], [876.9112199728989|1024.6541623827059], [898.88524667861918|967.86822292052784], [968.11456938467722
|900.1719744018075], [903.375147235289|899.3720543244841], [1154.1925066735793|997.59601515117458], [1114.1645149691585|1068.1948751768948], [1069.042391398016
|1065.1185270097287], [1062.2427377384595|1018.270722011862], [1102.5794411319405|942.8144007206356], [1213.0310728694999|900.80187685630517], [1317.893461598014
|3197.555813636983], [1298.561345930577|1074.1086.0853302988357], [1216.3965822557166|1040.7130653834372], [1252.10794127557
89|963.33107885120126], [1361.4869505574975|916.77591260512861], [1469.8636453073436|989.27716580111102], [1450.2399635573033|1091.3477579270179], [1388.750189669
9321|1102.3234937802629], [1365.1339498602542|1053.2024140520907], [1404.5031456686006|973.31785368407748], [1519.7331847816527|932.95339962585365], [1629.7221053
820408|1016.402367869698], [1589.1496806496877|1112.6916675763468], [1527.1527231590086|1114.452766843155], [1510.9392314445749|1057.8484380703314], [1560.44284
91210192|975.91106041827425], [1684.8385184113813|951.23534865331089], [1767.412151290205|1051.7355085825511], [1718.6201225574137|1133.4145626056959], [1661.005
1497710358|1120.7576979457833], [1656.8968827343122|1054.4247038847125], [1724.0917334440987|974.49543724205739], 1855.538175965028332]
```

```
| Calcolo dell' equazione di concezione lineare a una dimensione
| Parametri iniziali:
| estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
| estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
| valore della parte alta della funzione = 2.0,
| valore della parte bassa della funzione = 1.0.
| Parametri di simulazione:
| numero di passi temporali da effettuare = 25,
| velocita' dell'onda = 1.0.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda,
| un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
| Passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 0.
[]
```

```

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
| Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 0.
[]
true ?
(5 ms) yes
|- □

```

Test 3

```

| ?- main.
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele
-----
| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
altitudine iniziale = 100m,
velocita' iniziale = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 1.
[100.0, 110.0, 120.0, 129.0, 190.00000000001, 136.0759999999999, 140.2862361, 140.95741659999999, 137.67651733858997, 130.37769550871997, 119.38280732793429, 105.4078672174319, 89.53147307868173, 73.124568425559673, 57.744625571615934, 36.402951770958124, 33.20012693833717, 36.23617253796661, 45.825285684948966, 61.669630305956794, 82.82851440171121, 107.7476077635711, 134.35122386319638, 160.19479964103533, 182.66852035799354, 199.2371312301662, 207.69596025521969, 206.41962670659387, 194.57831945693101, 172.29724682735127, 140.73804105904662, 102.0864753769788, 59.438507867018501, 16.585857122576584, -22.28771243619846, -52.978352193541042, -71.672568670463122, -75.359608797198831, -62.2055699373621, -31.4848753454520164, 14.420429439176999, 73.623975046762595, 141.22287652636493, 211.40926605387983, 277.551619394158353, 332.76486773455127, 370.56022314917726, 385.52134503904375, 373.94050903797597, 334.35002968857797, 267.88598520255454, 178.4322034629416, 72.508806574958072, -81.088789472740028, -152.0294994454415, -249.10743717086717, -321.46128100669507, -359.56768524466084, -356.32873782125841, -308.00620047601365, -214.91781395050344, 81.804019158296285, 82.203213182455272, 264.04541980263571, 447.63349120961732, 615.128769339603, 748.52107717063984, 831.3793212570979, 850.61764767311615, 798.10766267381314, 671.9620864377743, 477.3321489344063, 226.59272986955784, 61.162972521531458, -361.33742171282438, -645.70178329975511, -884.80894381665769, -1120.1068175786365, -1076.5610490690781, 913.3228017550537, -634.66391552735604, -256.59806244748586, 193.53832074561797, 678.6569738648202, 1154.5995177188772, 1573.7758124367954, 1889.4958944664918, 2060.6385692961385, 2056.2316968786222, 1859.4861808131548, 1470.8343352838947, 909.57689541686398, 213.84060725848315, -561.31517430429206, -1347.6387195111245, -2069.0872460791743, -2648.5224142631828, -3015.1701236068243, -3112.1877841112473, -2903.607255489841, -2379.911052471212, -1561.5610832408479]

| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
velocita' iniziale = velocita' di trim,
angolo iniziale = 0rad,
spostamento laterale iniziale = 0m,
spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
velocita' di trim = 30m/s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
coefficiente di portanza = IN.
| Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 2.
[[0.0|1000.0], [60.0|1000.0], [119.01900000000001|1000.0], [177.07531615286251|998.7479065269398], [234.95290201868244|995.02799629833225], [294.20797765470002|988.65081354951462], [356.64088932269095|981.61382045427287], [422.71217097668|978.43721863454437], [489.3357738277897|983.80754590692436], [550.24724912917179|997.67226023276612], [600.7098837498596|1012.854020596123], [640.86673551978583|1019.0706715052474], [702.88433516777081|1007.0996310307462], [696.13814275358504|965.55912216417141], [743.77117871546091|899.76224371677984], [848.54363897528469|862.45640313013689], [952.4697900840463|924.442640497872207], [951.74370402151624|1021.357034896272], [903.47529389736565|1047.9695391385167], [876.91121999728989|1024.654162387059], [898.88524667861918|967.86822292052784], [968.11456938467722|900.67710744018075], [1089.375147235289|899.37250543244841], [1154.1925060735753|997.59601515117458], [1114.1645149691585|1068.1948751768948], [1069.042301398016|1065.1185270097287], [1062.2427377384595|1018.270722011862], [1102.5794411319405|942.8144007206356], [1213.0310728694999|900.80187685638517], [1317.893461598014|31974.7558516536983], [1298.5601345930577|1074.1072050306052], [1239.8640081869153|1086.0853082988357], [1216.3965822557166|1040.7130653834372], [1252.10794127557|89|963.33107885120126], [1361.4869505574975|916.77591260512861], [1469.8636453073436|989.27710580111102], [1450.2399635573033|1091.3477579270179], [1388.750189669|9321.1102.3234937802629], [1365.1339498602542|1053.20241405209071], [1484.50314566860606|973.31785368407748], [1519.7331847816527|932.9533962585365], [1620.7221053|8204081916.4023678696908], [1589.1490806496877|1112.6916675763468], [1527.9257231590086|1114.452766843155], [1510.9392314445749|1057.8484380703314], [1560.44284|91210192|975.91106041827425], [1684.8385184113813|951.23534865331089], [1767.4121512902025|1051.7355085825511], [1718.6201225574137|1133.4145626056959], [1661.005|1497710358|1120.7576979457833], [1656.896882733122|1054.4247038847125], [1724.0917334440987|974.49543724205739], [1855.538175965028332]
```

```

Calcolo dell' equazione di convezione lineare a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
valore della parte alta della funzione = 2.0,
valore della parte bassa della funzione = 1.0.
Parametri di simulazione:
numero di passi temporali da effettuare = 25,
velocita' dell'onda = 1.0.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda,
un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
Passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 1.
[1.0]

Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 1.
[4.0]

true ?

(6 ms) yes
| ?- 
```

Test 4

```

| ?- main.
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele
-----  

| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale = 100m,
| velocita' iniziale = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 12.
[100.0, 220.0, 340.0, -1235.1680000000001, -6200.6720000000005, 7694.9412352000036, 110596.36741120002, 106208.61572227065, -1459095.0205642348, -4523331.4059898248, 13
025604.747083195]  

-----  

| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale = velocita' di trim,
| angolo iniziale = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| velocita' di trim = 30m/s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza = 1N.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 1000.
[[0.0|1000.0],[30000.0|1000.0],185250.0,1000.0]
```

```

| Calcolo dell' equazione di convezione lineare a una dimensione
| Parametri iniziali:
| estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
| estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
| valore della parte alta della funzione = 2.0,
| valore della parte bassa della funzione = 1.0.
| Parametri di simulazione:
| numero di passi temporali da effettuare = 25,
| velocita' dell'onda = 1.0.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda,
| un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
| Passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 21.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.3.
[1.0, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, -33554430.99999814, 1224736768.9999921, -21424504830.999878, 239041773568.99863, -1999805023230.9897, 11627929796608.943, -56060710748158.734, 219527632650240.0, 710564623810555.62, 1924500476067831.8, -4398132035911658.0, 8525383008583640.0, -14046770681118654.0, 19637403262893996.0, -23095034961592216.0, 22298447915458464.0]

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
| estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
| estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
| Parametri di simulazione:
| tempo finale di simulazione = 0.6s,
| coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
| costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 35.
[2.171132022166455, 2.8221091064914816, 2.96295329676136539, 2.9749647809670834, 3.2484421169296973, 2.8159437723321434, 3.2413213855007399, 2.1073613864533942, 2.5450870348641375, 0.30444843266501548, 4.601443650646277, 3.8657671732210499, 3.9659577709730711, 4.1230270967130158, -18.966128327971468, -1284833.8128381818, -380435785936401.62, -3.0124628025220063e+30, -6.3959181028724134e+37, -1.2879266971536558e+37, -6.0191394754733475e+34, 3.6519501304495359e+29, -5.6812418707690291e+20, 7947504686, 2621984, -308, 23526035403484, 2.306933329042999, 1.7591741760237762, 1.8083825135659759, 1.9125403480077081, 2.6264424975757325, 2.141285046745192, 2.2561332580597382, 2.3709518498734257, 2.4859640358649409]

true ?

(10 ms) yes
| ?- 
```

Test 5

```

| ?- main.
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele

| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale = 100m,
| velocita' iniziale = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 10.
[100.0, 200.0, 300.0, -581.000000000001, -3424.0, 413.61000000000149, 38821.660000000003, 74153.195899999992, -270374.752800000007, -1341364.5532790001, 241002.971210008, 14983137.763365993, 27362014.407951877]

| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale = velocita' di trim,
| angolo iniziale = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| velocita' di trim = 30m/s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza = 1N.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 0.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: -0.12.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 8.
[[0.0|1000.0], [240.0|1000.0], [464.3039999999997|1000.0], [661.82916050535471|926.9684812146279], [934.98805355123568|612.90352742627715], [175.93212514592619|979.05333854657044], [552.31352577200414|972.56944555656651], [290.95541475897693|1203.3063985087913], [262.79143132846337|1107.3482286459121], [532.50749399025199|455.80921367827148], [-854.10589946340042|146.19756327513244], [500.6672714567444|1760.7291236185406], [-2209.0308532548411|2601.5777013214311], [-6668.691673528916|709.13485580074916], -1683.494424271993, 11056.201849079931]
```

```

| Calcolo dell' equazione di convezione lineare a una dimensione
| Parametri iniziali:
| estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
| estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
| valore della parte alta della funzione = 2.0,
| valore della parte bassa della funzione = 1.0.
| Parametri di simulazione:
| numero di passi temporali da effettuare = 25,
| velocita' dell'onda = 1.0.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda,
| un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
| Passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 50.
Digita lunghezza del passo temporale: -2.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 2.
[1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,1.0,-1.0740659143269653e+42,2.6336991274225788e+43,-3.0944845928554555e+44,2.3185390600259979e+45,-1.24365158
661086605e+46,5.0825782129693485e+46,-1.6444175966157751e+47,4.3202872071840257e+47,-9.3798941390436422e+47,1.7037353688288876e+48,-2.6110817763020907e+48,3.39
53398177722821e+48,-3.758140381660101e+48,3.5443443406455548e+48,-2.8450179905963733e+48,1.9357530286860528e+48,-1.1014001368732967e+48,4.8471443429033562e+4
7,-4.8346418259247849e+46,-3.6337321524129678e+47,9.2045279134085364e+47,-1.700322515826971e+48,2.6106062796725456e+48,-3.3952975721954643e+48,3.7581396572609
73e+48,-3.5443706776368296e+48,2.8453274390556588e+48,1.9380715677460786e+48,1.1138366527394053e+48,-5.3554021642002932e+47,2.1278817792082539e+47,-6.8655505
47710572e+46,1.7536622563510691e+46,-3.4128530019169079e+45,4.7549662954503328e+44,-4.2245576818105723e+43,1.7984650426474192e+42]

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
| estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
| estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
| Parametri di simulazione:
| tempo finale di simulazione = 0.6s,
| coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
| costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 0.
[]

true ?

(4 ms) yes
| ?- □

```

Test 6

```
| ?- main.
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele
-----
| Calcolo del moto fugode senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale      = 100m,
| velocita' iniziale       = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.
-----
Digita lunghezza del passo temporale: 100.
[100.0, 1100.0, 1200.0, -977900.0]
-----
| Calcolo del moto fugode con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale      = velocita' di trim,
| angolo iniziale          = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 100m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione = 100s,
| velocita' di trim        = 30m/s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza = 1N.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.
-----
Digita lunghezza del passo temporale: 0.9998.
[0.0, 1000.0], [29.9941000.0], [59.742848090189951000.0], [89.250110452452788|999.8416527102014], [118.56937635362652|999.37102261478458], [147.80162615704984|998.47033594831987], [177.0846790662919|997.0885014078946|995.2652071706465], [236.4058902388995|993.14251939798419], [266.6897528368984|990.95754374659066], [297.44526687109345|989.01116179444341], [328.59149189182813|987.61290603268015], [359.93819223420894|987.00989597514297], [391.20992997833048|987.316284158607], [422.09928382180647|988.46371386211308], [452.33631979461396|991.19015150391965], [481.75349950913963|992.0/254.18164144], [510.32734728106/2199.59466698170393], [538.1896515810872|994.23292473/7422], [565.61448/95711076|993.54494462277535], [599.99314775653386|991.2563808637581], [628.885267599885793|987.34826102318695], [649.57198887028912|988.13648929626822], [679.76513084/3031|978.310347673935], [711.6570884769855|978.88312094349669], [745.74570237111184|967.02284182615267], [779.64658634440957|965.7699602753867], [814.1468443718601|967.769228046914], [847.45033815635031|972.72439330408918], [881.47227042742791], [901.1408643265622|988.00415036451757], [931.42770832322172], [961.8994411426051|989.4060411426051], [999.47610276311|988.538209857537], [1014.44146606425337], [1024.67674524033553], [1054.7227472795|923.06697465848072], [1089.677506152795|1090.677506152795], [1117.538209857537|918.107564975597], [1144.7946442857657], [1182.1618704951|1138.804864696717], [1200.448419934098], [1238.0444958917535], [130.1004|1373434890], [1335.9182409901128|1034.107564975597], [1358.7851061353], [1388.4980097101243], [1436.4810260348010|1030.4720526850160], [1434.990001794032], [1461.4818310240|1030.03630623682], [1463.1005766324517], [1488.8604807762], [1514.976], [1540.348036040], [1563.03630623682], [1583.1005766324517], [1601.166884121756651], [1621.97747620251084], [1648.3781297321748|892.00082119923833], [1653.5223023553559|911.166884121756651], [1671.7755341154233|1819.2865449457093], [1682.179937182765], [1691.772830735379], [1709.57893715823654], [1727.1848.7689614085909|1709.57893715823654], [1746.16103311416|1709.57893715823654], [1765.41083311416|1709.57893715823654], [1784.230445153559|1048.8902757561168], [1802.79635859444|1709.57893715823654], [1821.6668685627403], [1837.5631445153559|1048.8902757561168], [1852.79635859444|1709.57893715823654], [1871.64558249772], [1891.5287140948556|1020.5307457566473], [1912.683458916697|1916.397824550463277], [1932.20932612424588], [1952.683458916697|1916.397824550463277], [2007.3455868049227|2027.5949801711019], [2044.5998564038041|1075.8385058883937], [2049.6098135314396|1064.5852287741341], [2054.4374949791554|1043.9061228505213], [2065.1189787238309|1015.165240386394], [2086.3733676198306|982.01388123508616], [2123.1337338163044|951.63651834951554], [2173.1802530847481|934.0241868964888], [2228.6042412469101|937.6635980332347], [2276.1799817979991, 963.33551418243997]
```

| Calcolo dell' equazione di concezione lineare a una dimensione

| Parametri iniziali:

estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
 estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
 valore della parte alta della funzione = 2.0,
 valore della parte bassa della funzione = 1.0.

Parametri di simulazione:

numero di passi temporali da effettuare = 25,
 velocita' dell'onda = 1.0.

Parametri richiesti all'utente:

numero di punti che compongono la funzione d'onda,
 un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
 Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
 Passo temporale, determina la distanza temporale
 tra due punti di simulazione, un valore basso
 permette una simulazione piu' accurata.
 Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: -123.
 Acquisizione errata!
 Il valore deve essere un numero naturale.
 Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 10.
 Digita lunghezza del passo temporale: 0.05.
 [1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0017082151240126, 1.0141065507015246, 1.055592536944328, 1.1393361334413421, 1.2496588881290112, 1.3407085992435028, 1.3683448462751635]

```

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 70.
[2.5603251504886444, 2.6173130875518451, 2.6743003361134736, 2.7312862727233584, 2.7882699234950472, 2.8452497337409888, 2.902223270300385, 2.9591868278009406, 3.0161349235423116, 3.0730596794931286, 3.1299501094113285, 3.1867913561671002, 3.2435639584941418, 3.30024326476144, 3.356799148438868, 3.4131962073448157, 3.4693946363673285, 3.5810255793815271, 3.6363765584417296, 3.6913737523816272, 3.7459986515297796, 3.8002499621472001, 3.8541473830426445, 3.9077338162177715, 3.9610753513724095, 4.0142586027046319, 4.0673853582028503, 4.120564966356585, 4.1739053375114148, 4.2275037518270286, 4.281437841786585, 4.3357644802101616, 4.390507546677838718734, 4.456677838718734, 4.5012214473160821, 4.5571267767457853, 4.6133306729789822, 4.6697754562745594, 4.7264047378432439, 4.7831678792840471, 4.8400224963833658, 4.8969351283844125, 4.953879863126045, 5.0108343176371921, 5.0677703978578714, 5.1246317724784811, 5.1812748045790835, 5.2373076720637135, 5.2916461629191316, 5.3412847832476835, 5.377917984853612, 5.37881438511586, 5.2847901328886708, 4.9575208394816599, 4.1837680274601219, 3.0925438891975219, 2.3434691794784466, 2.0532515015, 2.3893640769823898, 2.4463493939949714, 2.5033370170326315]

true ?

(25 ms) yes
| ?- □

```

Test 7

```

| ?- main.
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele

| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale = 100m,
| velocita' iniziale = 10m/s.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 1765.
[100.0, 17750.0, 35400.0]

| Calcolo del moto fugoide con attrito
Parametri iniziali:
velocita' iniziale = velocita' di trim,
angolo iniziale = 0rad,
spostamento laterale iniziale = 0m,
spostamento verticale iniziale = 1000m.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
velocita' di trim = 30m/s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
coefficiente di portanza = 1N.
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: -129.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: -2.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 10.
[10.0|1000.0, [300.0|10000.0], [575.4750000000002|1000.0], [791.56246565162689|864.99194142334773], [1170.5394792779377|209.79622282680998], [2567.2963356473438|598.69008141817149], [1978.0197754075464|770.56101904129832], [1998.6431950100541|534.59620269306583], [2885.8938529614579|1340.8395316462475], [3004.7805496807414|1428.087339061987], [3443.5662097211548|1436.3920967313945], [3800.1200186648171|1125.9184010947315], 4279.7547812195298, 50.082891346764882]

| Calcolo dell' equazione di convezione lineare a una dimensione
Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
valore della parte alta della funzione = 2.0,
valore della parte bassa della funzione = 1.0.
Parametri di simulazione:
numero di passi temporali da effettuare = 25,
velocita' dell'onda = 1.0.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda,
un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
Passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 5.
Digita lunghezza del passo temporale: 6.
[1.0,-1.0834705943388371e+26, 2.8465727433083995e+27, -3.5727666705883976e+28, 2.8484450065442973e+29]

```

```

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
| Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
| Parametri richiesti all'utente:
| numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: -23.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere un numero naturale.
Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 123.
[2.531443832593343, 2.5636226537471751, 2.595801528604663, 2.6279804089739236, 2.6601592624044681, 2.692338058796651, 2.7245167621563615, 2.7566953239943901, 2.788873
6765561815, 2.8210517248167637, 2.8532293364975465, 2.8854063294965955, 2.9175824561886268, 2.949757584106197, 2.981930672594896, 3.0141017451663932, 3.04626985747109
69, 3.078434061088994, 3.1105931636991904, 3.1427456866347234, 3.174889821349276, 3.2070233868952855, 3.2391437911057084, 3.271247998739091, 3.3033325103326137, 3.33
53933558494044, 3.3674261073262737, 3.3994259145764709, 3.413875675008307, 3.4633055876865226, 3.4951743507003581, 3.5269882388345608, 3.5587418220919491, 3.59043006
30017243, 3.622048538573869, 3.6535936705016718, 3.6850629528048886, 3.7164551646764314, 3.7477705555489411, 3.7990198894973054, 3.8101800371471808, 3.841283005300142
8, 3.8723268974553426, 3.9033203021507994, 3.9342732103185636, 3.9651967673260256, 3.9961029696935455, 4.0270043202603594, 4.0579134584728394, 4.0888427842208674, 4.11
98040940838752, 4.1508082479285608, 4.1818648816161967, 4.2129821783389119, 4.2441667071139104, 4.275423325807265, 4.3067551958444543, 4.3381637628350464, 4.36964892
68012302, 4.4012091713303048, 4.4328417538473834, 4.4645429246959996, 4.4963081525744775, 4.5281323501204076, 4.560010088885794, 4.5919357955813043, 4.623903923691200
3, 4.655999099762425, 4.6879462217463939, 4.7200105725954016, 4.7520978458059364, 4.7842041907149389, 4.81632621880802358, 4.8484609988249787, 4.88060600802303, 4.912
75911352352891, 4.944918635283471, 4.9770830490199565, 5.0092511779935656, 5.0414229142943975, 5.0735946588986476, 5.1057682014797772, 5.1379415214679129, 5.170112930
5276901, 5.2022794993441064, 5.2344357604366358, 5.2665711828487876, 5.2986652356285164, 5.3306777251178303, 5.3625298809369442, 5.3940673593254056, 5.424987973716171
5, 5.48205308505841234, 5.512473121133525, 5.479296373233503, 5.383456959675892, 5.183784016349521, 4.82
39578705567974, 4.2695713320983053, 3.5816822766754703, 2.9362014985610259, 2.4818176684923263, 2.229932615080866, 2.1158796145773668, 2.0775635299646748, 2.076798049
9564493, 2.093789145090331, 2.1190035147854576, 2.1479936953961047, 2.1787124471284165, 2.21022218005219, 2.2420940909965279, 2.274132016665058, 2.3062461322931007, 2.
338395255884008, 2.3705604824330022, 2.4027331225718669, 2.4349091776161815, 2.46708680516406, 2.4992651548358373]

true ?

(115 ms) yes
| ?- □

```

Test 8

```

| ?- main.
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele
-----
| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
altitudine iniziale = 100m,
velocita' iniziale = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: -90.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.876.
[100.0, 108.760000000000001, 117.520000000000001, 125.62055083014401, 132.40220332057601, 137.25511536167104, 139.66887496426617, 139.27804621088941, 135.90096098898448
,120.53076109954153, 126.26818669247713, 96.46033402964785, 82.95477611334546, 69.71568278453591, 57.759746846208301, 48.083601758128296, 41.5872
85423104817, 38.99921403574013, 40.80842759116296, 47.209755037578745, 58.066999525944176, 72.898271778803164, 90.88624293013685, 110.91442095135973, 131.6286788278
7083, 151.2130361809961, 169.03293457309978, 182.66606314213965, 191.19242100377431, 193.31571188888526, 188.67085027367534, 177.00122053750115, 158.65648593792503, 1
34.51513136559163, 105.958140839099, 74.802865526475074, 43.199063840537335, 13.49209196074031, -11.938928912612869, 38.8576703556413, 41.34969561762037, 41.99808
9682645363, 31.991177236889754, 11.302535479216136, 19.322347403706697, 58.3260399303734219, 103.40311091839146, 151.61738131489977, 199.57546693172074, 243.64781747
339887, 280.2416812853055, 305.9867706112035, 318.18217240348963, 314.8709754643113, 295.1351150012905, 259.22385654784858, 208.62290750110117, 146.03565251579784, 7
5.2713100671444989, 1.0414227742762989, -71.326898988015643, -136.2456600651895, -188.2670031841249, -222.50387091412955, -235.04011810197014, -223.29840753299916, -1
86.335051571393683, -42.177519461649277, 57.61928808367179, 168.11915069818548, 281.80941574319331, 390.37169935221783, 485.24744548591661, 558.26
41304224268, 602.27954730927036, 611.79703036258445, 583.50311723910113, 516.68133575861179, 413.4616399760547, 278.87434591833485, 120.68978948572121, 50.960353573
493506, 168.01541134453, .386.01144439015343, -523.4516395042195, -024.30509448734233, -678.6202549660029, -618.43685828774297, -500.702131
06147884, -224.16801541134453, -111.881446371326, 137.4608470393458, 402.72843203926993, 665.175980036657, 904.83425705480749, 1101.9463205401994, 1238.47079467782
17,1299.5691650117328, 1274.9639257045949, 1160.0556167568357, 956.69651038708548, 673.5368564749283, 325.8854427586515, 64.941584804957245, -472.77317652393867, -8
68.18803409059569, -1220.4847642857349, -1499.8967004916553, -1679.9030908510319, -1739.4699205945894, -1665.0463832507221, -1452.1483125608293, -1106.3782815750433,
-643.76316882993865]

| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
velocita' iniziale = velocita' di trim,
angolo iniziale = 0rad,
spostamento laterale iniziale = 0m,
spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
velocita' di trim = 30m/s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
coefficiente di portanza = 1N.
Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 50.
[[0.0|1000.0],[1500.0|1000.0],[2386.875|1000.0],[2824.0242269064747|1511.0888136058693],20555.288954258482,5086.5979299379733]

```

```

| Calcolo dell' equazione di convezione lineare a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
valore della parte alta della funzione = 2.0,
valore della parte bassa della funzione = 1.0.
Parametri di simulazione:
numero di passi temporali da effettuare = 25,
velocita' dell'onda = 1.0.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda,
un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
Passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 12.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: -0.1.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.1.
[1.0,1.0,1.0,1.0,0.000000021395026,1.00000067513197,1.000010263273822,1.0000100086319104,1.0000703386875331,1.0003794097438439,1.0016335099573894,1.00576334775
71737,1.016976459266707]

-----
```

```

| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.

Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 21.
[1.963029017968277, 2.8854314654154951, -3.7591703623646291, 5.812804682399631, 3.2088548302682662, 3.4006298114687006, 3.592090666140296, 3.8012007651840292, 3.4937
057770489943, 0.10268289786064422, -700.53639712815118, -1789.5025156492904, -573.27628160351139, 13.93216171688821, 1.9874672625953997, 1.482881961903656, 1.67465457
68834542, 1.8663985426277945, 2.0590704436075975, 2.237328703452695, 2.5356259426799275]

true ?

(2 ms) yes
| ?- □

```

Test 9

```

| ?- main.
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele
-----
```

```

| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
altitudine iniziale = 100m,
velocita' iniziale = 10m/s.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 5.012.
[1.963029017968277, -193.56008262067198, -580.13617617977195, -243.29623087191226, 1769.5938574585052, 4628.4640847719875, 3372.977
322478162, -9041.9406379206375, -29522.411240592639, -27474.524360864449, 47571.459569571598, 190568.96132456471, 216583.20386230401, -226772.57250189965, -1203604.9
047426018, -1621358.3041061945, 927161.59356703982, 7471418.6945852414, 11731130.772257913]

-----
```

```

| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
velocita' iniziale = velocita' di trim,
angolo iniziale = 0rad,
spostamento laterale iniziale = 0m,
spostamento verticale iniziale = 1000m.
Parametri di simulazione:
secondi di simulazione = 100s,
velocita' di trim = 30m/s,
costante gravitazionale = 9.81m/(s^2),
coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
coefficiente di portanza = 1N.
Parametro richiesto:
passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: -1.02.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 9.
[[0.0|1000.0],[270.0|1000.0],[520.1347499999994|1000.0],[729.98932241552779|898.56165042641328],[1044.6897968458243|430.41056032594815],[677.81815152043987|-645.60987931695081],[256.37923369771636|-2123.4507214966407],[-1048.7477796075964|-1101.9376484251725],[-1249.6420682965511|-734.13802134404182],[-1347.98552626632|-1045.0938463583657],[-1364.7672638949225|67.523955422382642],[-1657.7770603561469|654.04036443516725],[-1666.52449902634|715.3483417780642],-973.42989667357097,507.22077489768731]

```

Test 10

```
| ?- main.
Progetto della sessione estiva del corso Programmazione Logica e Funzionale
Anno 2023/2024
Corso tenuto dal prof. Marco Bernardo
Progetto realizzato da: Barzotti Nicolas e Ramagnano Gabriele
-----
| Calcolo del moto fugoide senza attrito
| Parametri iniziali:
| altitudine iniziale      = 100m,
| velocita' iniziale        = 10m/s.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione  = 100s,
| costante gravitazionale = 9.81m/(s^2).
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: -12.0.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.
Acquisizione errata!
Il valore deve essere maggiore di zero.
Digita lunghezza del passo temporale: 123.
[100.0,1330.0,2560.0]

-----
| Calcolo del moto fugoide con attrito
| Parametri iniziali:
| velocita' iniziale          = velocita' di trim,
| angolo iniziale              = 0rad,
| spostamento laterale iniziale = 0m,
| spostamento verticale iniziale = 1000m.
| Parametri di simulazione:
| secondi di simulazione     = 100s,
| velocita' di trim            = 30m/s,
| costante gravitazionale     = 9.81m/(s^2),
| coefficiente di resistenza dell'aria = 0.025,
| coefficiente di portanza     = 1N.
| Parametro richiesto:
| passo temporale, determina la distanza temporale
| tra due punti di simulazione, un valore basso
| permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.

Digita lunghezza del passo temporale: 23.
[[0.0 1000.0],[690.0 1000.0],[1250.262791976839],[1000.0],[1775.58369329037691|1006.7142233055527],[1090.892110923364|1133.6971520682619],[2389.7869961014545|148.58202791976839],-405.23625184599541,-4577.067502621624]
```

```
| Calcolo dell' equazione di convezione lineare a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0,
valore della parte alta della funzione = 2.0,
valore della parte bassa della funzione = 1.0.
Parametri di simulazione:
numero di passi temporali da effettuare = 25,
velocita' dell'onda = 1.0.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda,
un valore alto permette una simulazione piu' accurata.
Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
Passo temporale, determina la distanza temporale
tra due punti di simulazione, un valore basso
permette una simulazione piu' accurata.
| Il valore del passo temporale deve essere maggiore di zero.
```

```
Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 2.
Digita lunghezza del passo temporale: 0.2.
[1.0,1.0]
```

```
| Calcolo dell'equazione di Burgers a una dimensione
| Parametri iniziali:
estremo superiore del dominio spaziale = 2.0 * pi,
estremo inferiore del dominio spaziale = 0.0.
Parametri di simulazione:
tempo finale di simulazione = 0.6s,
coefficiente di diffusione = 1.0m^2/s,
costante di Courant-Friedrichs-Lowy = 0.1.
Parametri richiesti all'utente:
numero di punti che compongono la funzione d'onda.
| Il valore del numero di punti dell'onda deve essere un naturale.
```

```
Digita il numero di punti totali della funzione d'onda: 3.
[4.0,4.0,4.0]
```

```
true ?
```

```
(4 ms) yes
| ?- []
```