Simulazioni numeriche

Caso non relativistico unidimensionale

$$1)\quad \frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{1}{\mu_0}\frac{\partial E_y}{\partial z}$$

$$2)\quad \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon_0}\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{1}{\epsilon_0}J_y$$

$$3)\quad J_y = -enc\beta_y$$

$$4)\quad \frac{\partial n}{\partial t} + c\frac{\partial n\beta_z}{\partial z} = 0$$

$$5)\quad \frac{\partial \beta_y}{\partial t} = -\frac{e}{mc}(E_y + \mu_0 c\beta_z H_x)$$

$$6)\quad \frac{\partial \beta_z}{\partial t} + c\beta_z\frac{\partial \beta_z}{\partial z} = \frac{e}{m}\mu_0 c\beta_y H_x$$

Le equazioni di Maxwell, di continuità e del modello fluido del plasma descrivono completamente l'interazione di un'onda e.m. con un plasma.

Simulazioni numeriche

FDTD

Spazio e tempo sono discretizzati;
Sistema accoppiato, bisogna stabilire un ordine di aggiornamento delle variabili, sia spaziale che temporale;
Condizioni iniziali:

$$n_0 = cost, \beta_{y0} = 0, \beta_{z0} = 0, H_{x0} = 0,$$

E_{y0} = impulso gaussiano con e senza portante ottica;
Condizioni al bordo: Absorbing Boundary Condition (ABC) 1° ordine;
Uso del Predictor Corrector dove necessario.

Simulazioni numeriche
Struttura del programma

for (t = 0; t< maxtime; t++){

$$H_x^{t+1/2} = f(H_x^{t-1/2}, E^t)$$

$$\beta_y^{t+1/2} = f(H_x^{t+1/2}, H_x^{t-1/2}, E^t, \beta_z^t)$$

$$n^{t+1/2} = f(\beta_z^t, n^{t+1/2}, n^{t1/2})$$

$$J_y^{t+1/2} = f(\beta_y^{t+1/2}, n^{t+1/2})$$

$$E_x^{t+1} = f(H_x^{t+1/2}, E^t, J_y^{t1/2})$$

$$\beta_z^{t+1} = f(\beta_y^{t+1/2}, \beta_z^t, \beta_z^{t+1}, H_y^{t1/2})$$

}

Simulazioni numeriche
Verifica del programma

Per verificare il funzionamento si calcola la conducibilità del plasma, trascurando gli effetti del campo magnetico, poiché:

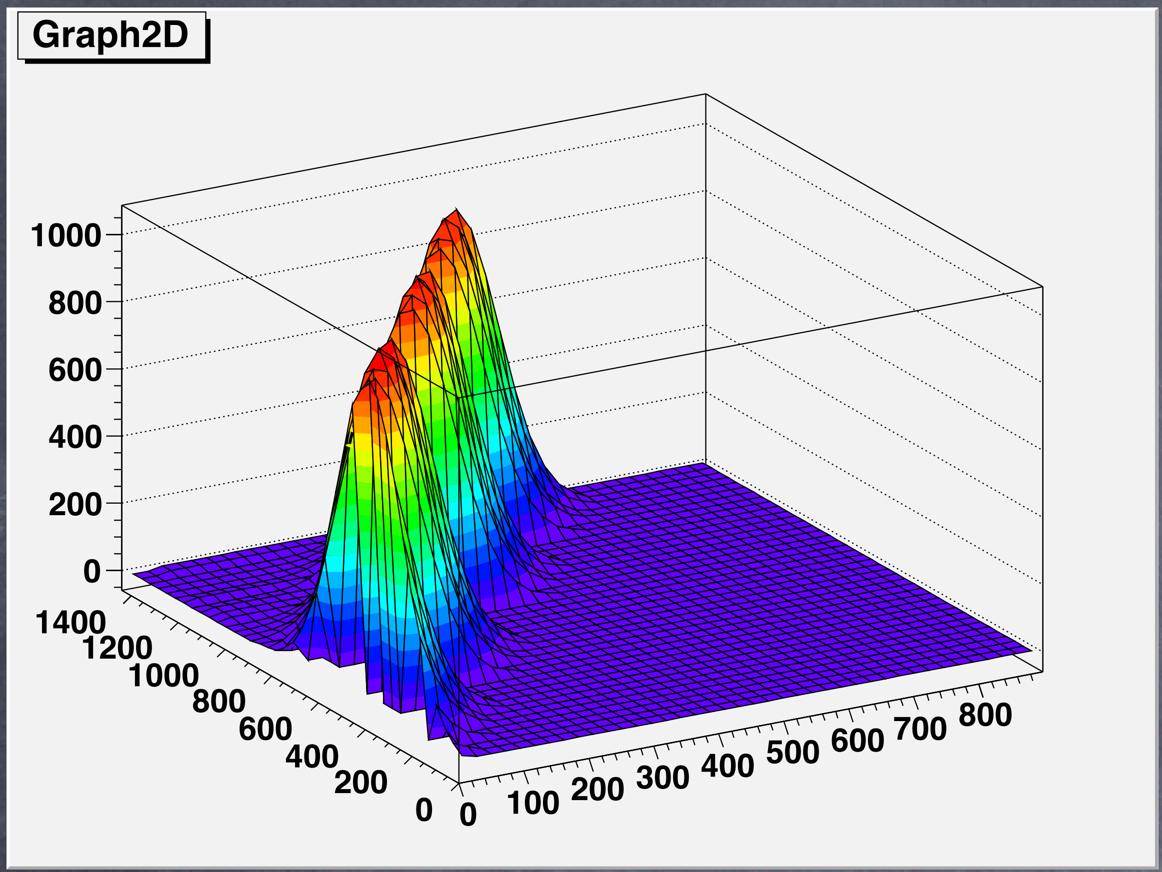
$$H \sim 10^{-3} E$$

per piccole oscillazioni si ottiene:

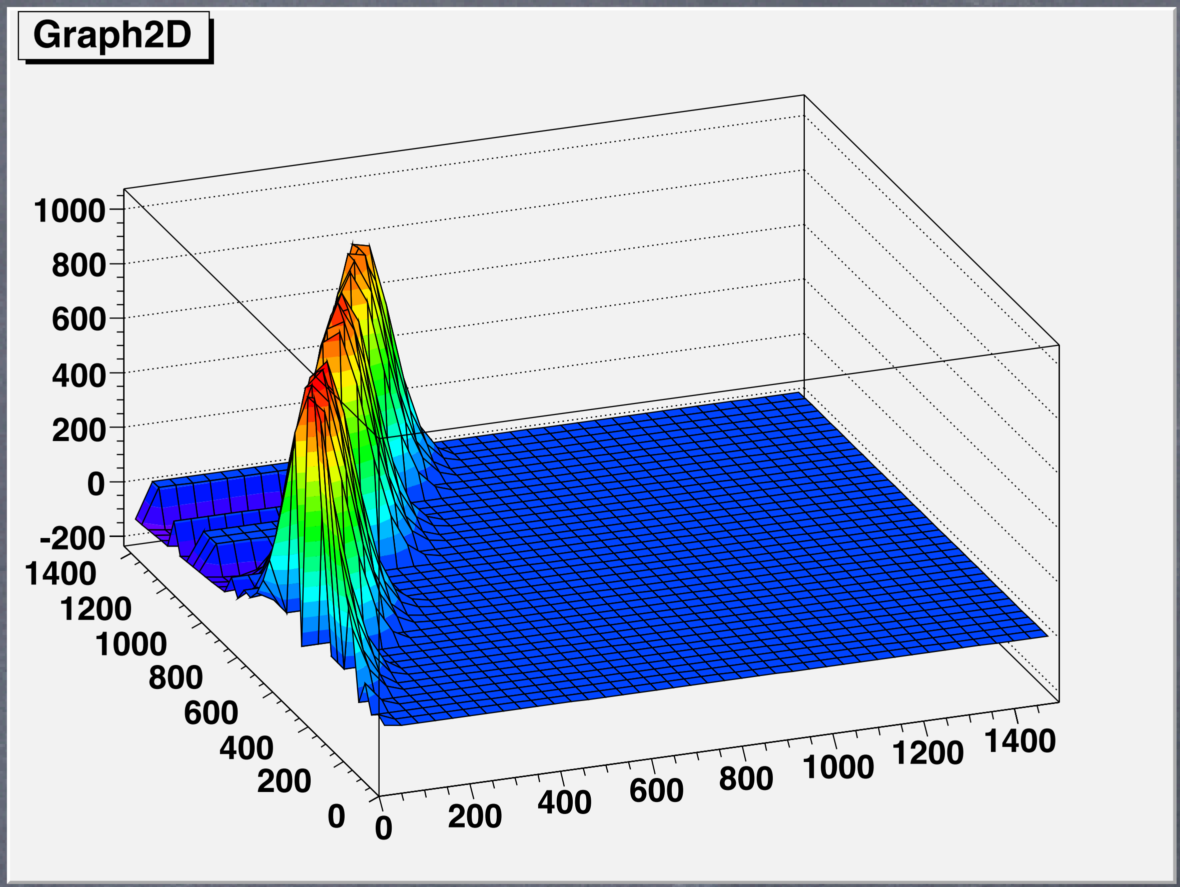
$$\sigma = \frac{e^2 n}{n\omega}$$

Lontano da $\tau \sim 1/\omega_p$ ci si aspetta un andamento simile a quello di un'onda e.m in un mezzo dispersivo.
Si confronta l'andamento del campo E in un plasma e in un mezzo dispersivo, entrambi con la stessa conducibilità.

Simulazioni numeriche



Mezzo dispersivo



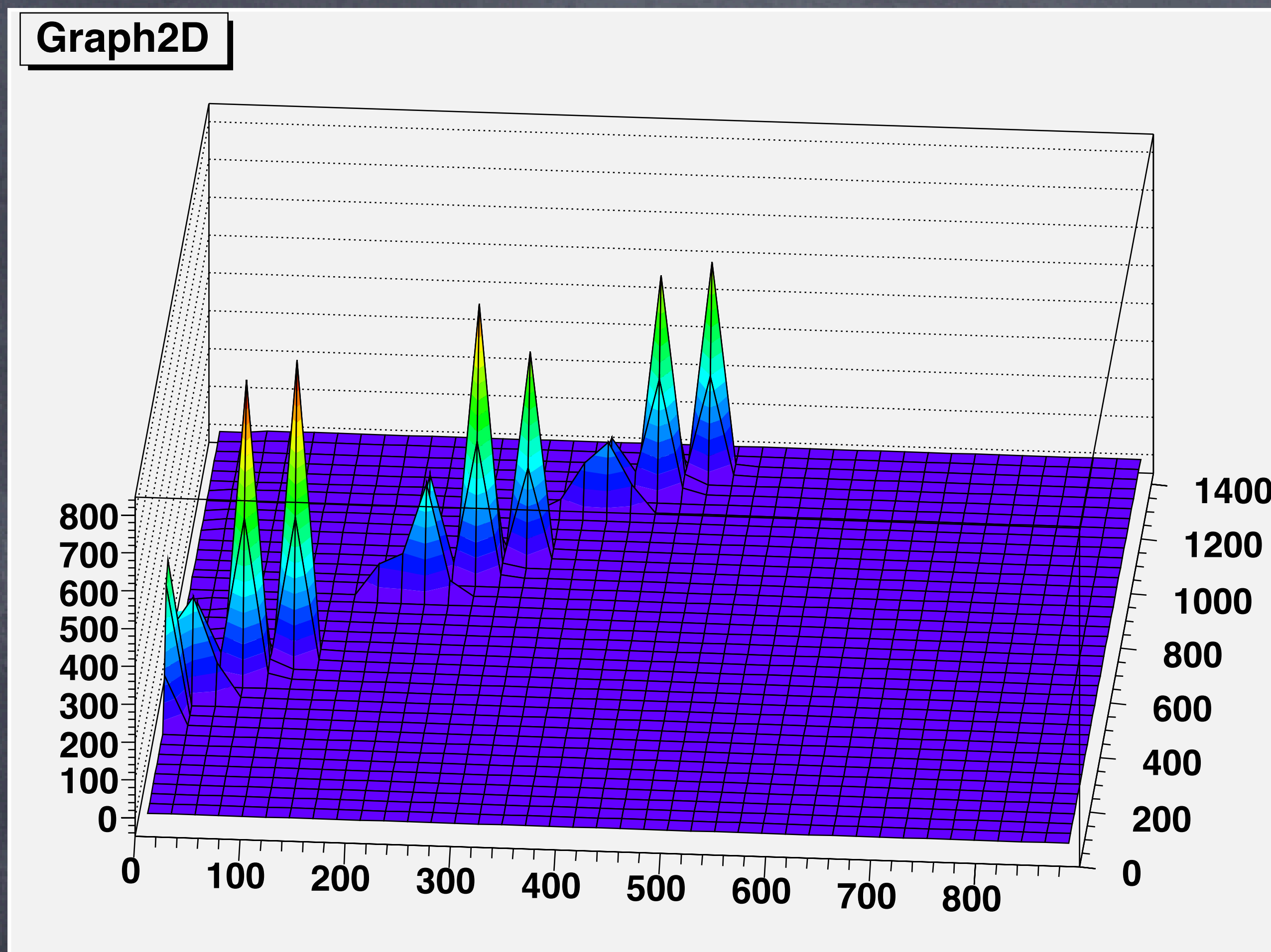
Plasma

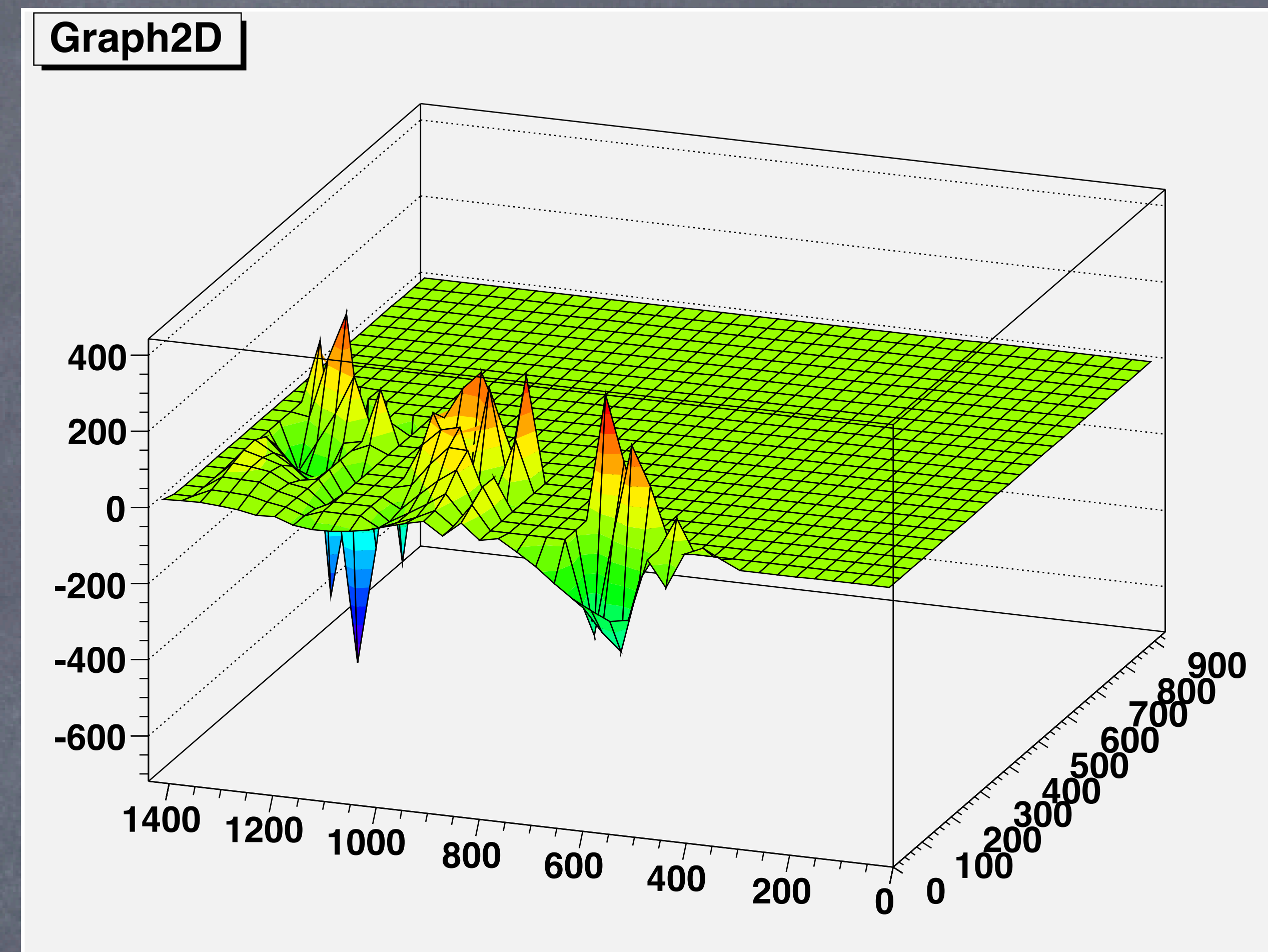
$$n = 10^{21}(m^{-3}), \sigma = 1.13(1/\Omega m)$$

E_0= 1000 V/m, durata impulso = 200 fs

dx = 440 nm, dt = 0.73 fs S_c = 0.5 = cdt/dx

Simulazioni numeriche





Mezzo dispersivo

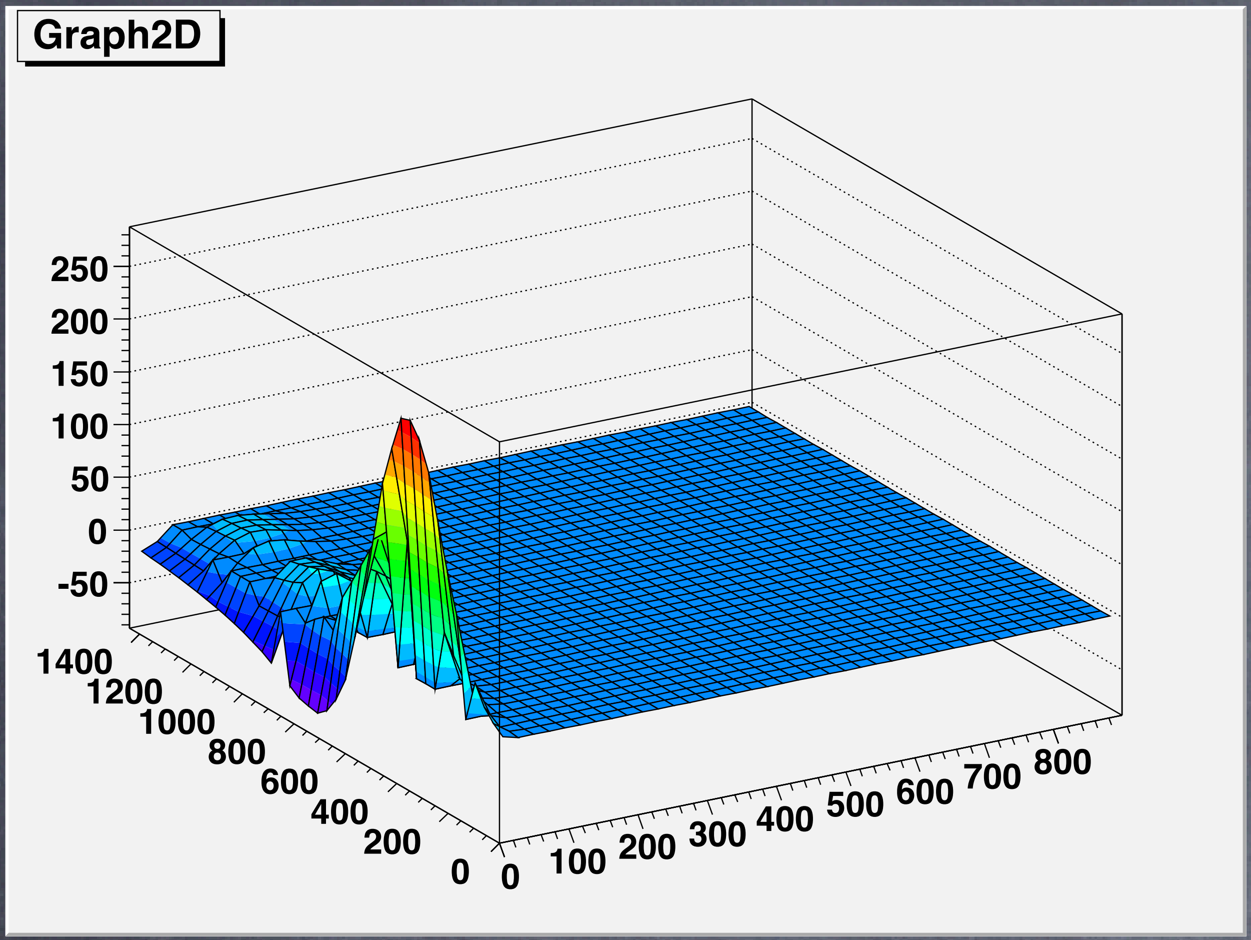
Plasma

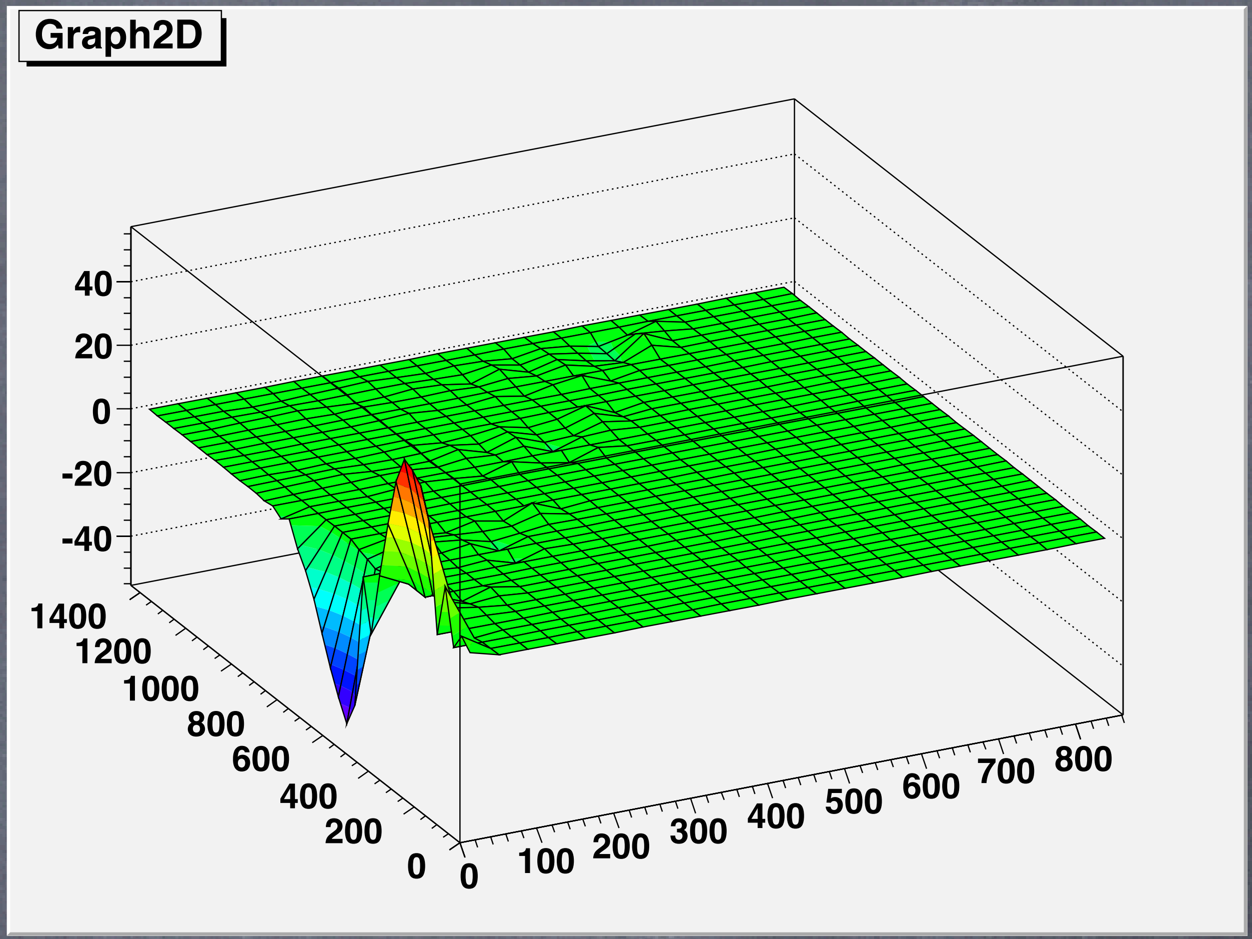
$$n = 10^{21}(m^{-3}), \sigma = 1.13(1/\Omega m)$$

E_0= 1000 V/m, durata impulso = 200 fs

dx = 4400 nm, dt = 7.3 fs S_c = 0.5 = cdt/dx

Simulazioni numeriche





Mezzo dispersivo

Plasma

$$n = 10^{24}(m^{-3}), \sigma = 1.13 * 10^3(1/\Omega m)$$

E_0= 1000 V/m, durata impulso = 200 fs

dx = 440 nm, dt = 0.73 fs S_c = 0.5 = cdt/dx

Numerical simulation