

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

Elaborato d'esame

Fondamenti dei Sistemi Dinamici

Anno Accademico 2019 - 2020

Docente:
Prof. Ing. Giovanni Celentano

Candidato:
Antonio Romano

Corso:
Studi in Ingegneria Informatica

Matricola:
N46004321

INDICE

Prefazione.....	5
1. Diffusione di un'epidemia: Modello S.E.I.R.....	6
1.1 Introduzione.....	6
1.2 Il Modello matematico.....	6
1.2.1 Individuazione parametri	6
1.2.2 Il Diagramma.....	7
1.2.3 Le equazioni.....	7
1.3 Analisi e controllo con Matlab.....	8
1.3.1 Import dei dati su Matlab.....	8
1.3.2 Condizioni Iniziali	10
1.4.1 Editor Matlab.....	11
1.5 Esecuzione del programma ed analisi	13
1.6 Conclusioni.....	18
2. Edifici in zona sismica.....	19
2.1 Introduzione.....	19
2.2 Modello matematico	20
2.2.1 Individuazione parametri	20
2.2.2 Il modello	21
2.3.1 Analisi del modello ed esecuzione del programma edificio_sisma.....	22
2.3.2 Analisi edificio_sisma sistema costruttivo di legno	22
2.3.3 Simulazione edificio_sisma sistema costruttivo in legno.....	23
2.3.4 Analisi edificio_sisma sistema costruttivo in muratura ordinaria	24
2.3.5 Simulazione edificio_sisma sistema costruttivo in muratura ordinaria	25
2.3.6 Analisi edificio_sisma sistema costruttivo in muratura armata	26
3 Robot planare.....	29
3.1 Introduzione ai robot.....	29
3.2 Individuazione dei parametri.....	29
3.3 Modello matematico	30
3.3.1 Modello cinematico	30
3.3.2 Modello dinamico	31
3.3.2 Simulazione del robot su Matlab	33
3.3.3 Test con $\tau_f = 0.1$	34
3.3.4 Test con $\tau_f = 0.5$	37
3.3.5 Test con $\tau_f = 0.05$	39

4 Auto in movimento con controllore PID	41
4.1 Introduzione.....	41
4.1.1 Un breve accenno al controllore PID.....	41
4.2 Individuazione parametri e modello matematico	41
4.2.1 Le equazioni.....	42
4.2.2 Simulink e simulazioni.....	42
4.2.3 Simulazione auto con massa superiore ai 2000Kg	42
4.2.4 Simulazione auto con massa tra i 1000Kg e i 2000Kg.....	47
4.2.5 Simulazione auto con massa minore di 1000kg	51
4.3 Conclusioni.....	54
 5 Trasformatore.....	55
5.1 Introduzione.....	55
5.2 Individuazione parametri e modello matematico	56
5.3 Simulazione su Matlab e Simulink	57
 6 Rete idrica	63
6.1 Introduzione.....	63
6.2 Individuazione parametri e modello matematico	64
6.3 Modello Simulink e simulazioni	65
6.3.1 Simulazione con elettropompa per uso domestico	66
6.3.2 Simulazione con elettropompa per uso condominiale	68
6.4 Conclusione.....	69
 7 Serratura di casa	70
7.1 Introduzione.....	70
7.2 Individuazione dei parametri e modello logico	70
7.3 Schema Simulink e simulazione	72
7.3.1 Simulazione con combinazione 2927.....	73
7.4 Conclusione e implementazione futura	75
 8 Antifurto.....	76
8.1 Introduzione.....	76
8.2 Individuazione dei parametri e modello logico	76
8.3 Modello Simulink Matlab e simulazione	77
8.4 Conclusione e implementazione futura	83

9 Riscaldamento bilocale	84
9.1 Introduzione.....	84
9.2 Individuazione dei parametri e modello matematico	84
9.3 Modello Simulink Matlab e simulazione	86
9.3.1 Simulazione nel Nord Italia -5 T_{min} e -2 T_{max}	88
9.3.2 Simulazione nel centro Italia 1 T_{min} e 7 T_{max}	90
9.3.3 Simulazione nel sud Italia 1 T_{min} e 10 T_{max}	91
9.4 Conclusione e implementazione futura	92
10 Frigorifero.....	93
10.1 Introduzione.....	93
10.2 Individuazione parametri e modello matematico	94
10.3 Simulink e simulazioni	94
10.4 Conclusioni.....	97
11 Bibliografia e Sitografia.....	98
11.1 Bibliografia.....	98
11.2 Sitografia	98

“

Sono la passione e la curiosità
a guidare l'innovazione.
Grazie per l'insegnamento Prof. Ing. G. Celentano

Lavoro svolto con dedizione e pazienza
ai tempi del CoronaVirus.

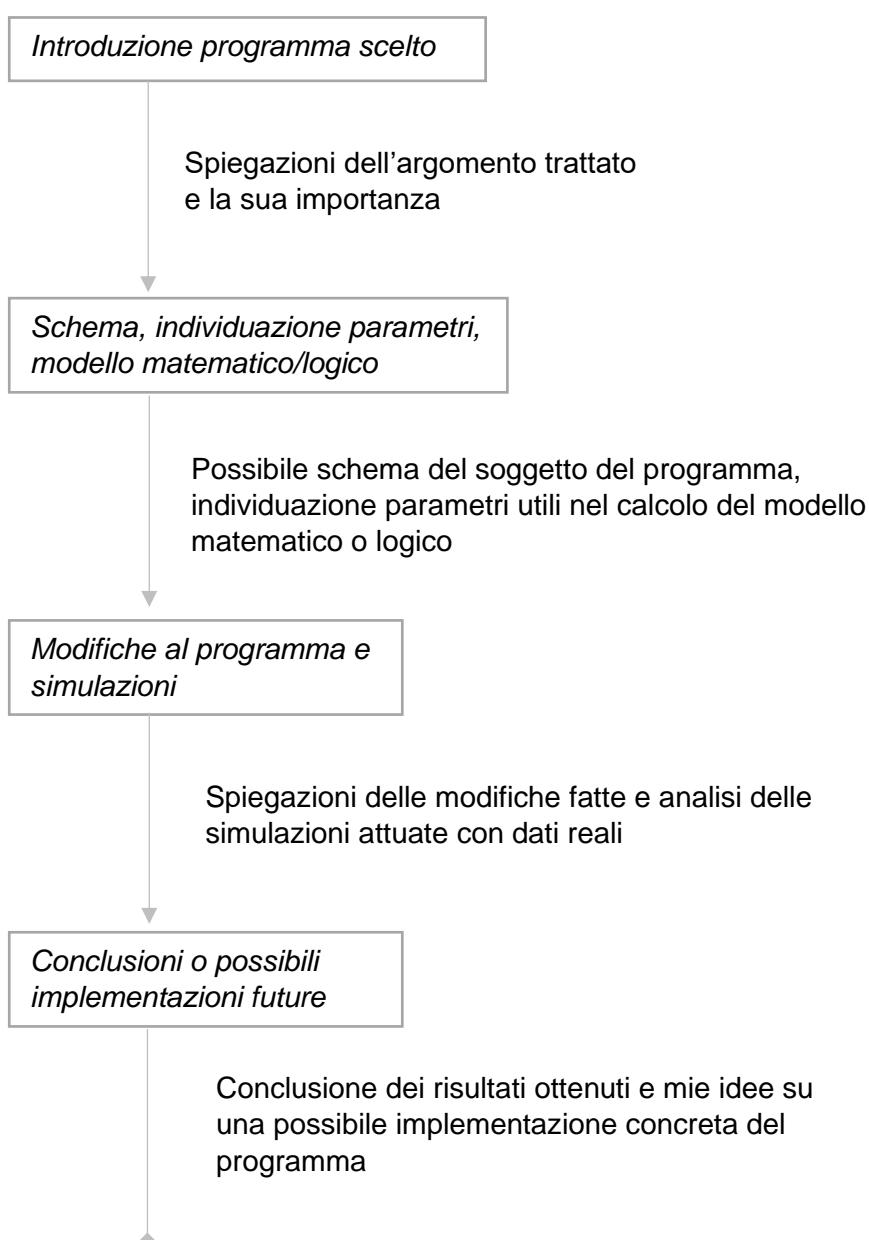
Prefazione

La seguente trattazione è mirata nella analisi, simulazione e approfondimenti di programmi che gentilmente i Prof. G. Celentano e L. Celentano hanno messo a disposizione con i Loro libri di testo e del manuale degli elaborati Matlab/Simulink da Loro realizzati oltre a quelli gentilmente illustrati durante il corso.

Ogni elaborato scelto, è stato trattato e simulato con un esempio concreto e reale ragionando sulle possibili scelte costruttive o decisionali realizzando schemi e diagrammi aggiuntivi per rendere attuale la spiegazione.

In alcuni programmi, come Antifurto, Serratura, Riscaldamento Bilocale si è aggiunto un mio punto di vista su una possibile implementazione futura del programma nel mondo della Domotica.

La scaletta seguita nella realizzazione ed analisi dei programmi è stata:



1. Diffusione di un'epidemia: Modello S.E.I.R

1.1 Introduzione

Il termine epidemia designa l'insorgenza di una malattia che rapidamente si diffonde per contagio diretto o indiretto, fino a colpire un gran numero di persone in un territorio più o meno vasto, in un intervallo temporale e spaziale definito. È chiaro che l'invasione umana di nuovi ecosistemi, il degrado ambientale, il surriscaldamento globale, il potenziamento degli spostamenti e delle comunicazioni su scala internazionale e i cambiamenti in campo economico hanno cominciato a fornire sempre più terreno fertile per lo sviluppo di nuove malattie. Malattie che possono presentarsi in forma sporadica, endemica e pandemica.

- Sporadica: epidemia caratterizzata da episodi rari, isolati, con tendenza a rimanere circoscritta;
- Endemica: epidemia costantemente presente nella popolazione che si manifesta con un certo numero di casi uniformemente distribuita nel tempo;
- Pandemica: epidemia che colpisce in breve tempo un numero molto elevato di soggetti, superando i confini di un paese e diffondendosi in nazioni e continenti lontani fra loro.

Nel seguente capitolo si tratta attraverso un modello matematico costituito da una o più equazioni che prendono in considerazione i diversi parametri che sono coinvolti nell'evoluzione dell'epidemia di interesse.

Nel caso in esame, si tratterà del *Coronavirus (COVID-19)*, estraendo i dati dal *Dipartimento della Protezione Civile* della data *prima della quarantena e dell'applicazione delle misure di contenimento e contrasto dell'emergenza epidemiologica*, il 09 Marzo 2020, simulando la diffusione dell'epidemia nelle aree geografiche più colpite in quel periodo.

1.2 Il Modello matematico

Il modello matematico in questione è un modello compartimentale dove si assumono delle ipotesi per semplificare la simulazione matematica della dinamica delle malattie infettive, presumendo che la popolazione sia divisa in compartimenti e che ogni individuo nello stesso compartimento abbia le stesse caratteristiche.

1.2.1 Individuazione parametri

S	I Suscettibili	Individui che possono incorrere nella malattia ma non ancora contagiati
E	Gli Infettati	Individui che hanno contratto l'infezione ma non sono ancora contagiosi
I	Gli Infettivi	Individui che sono ammalati e che trasmettono a loro volta la malattia ad altri
R	Gli Immuni	Individui che sono stati eliminati dalla cerchia dei suscettibili, in quanto o totalmente guariti, o perché sono stati isolati o perché sono deceduti sia per cause naturali sia in seguito al contagio stesso
N	Popolazione	$N = S + E + I + R$ la popolazione totale
V	Vaccinazione	Il tasso di vaccinazione che determina la diffusione in base alla sua presenza o meno

D'altra parte si hanno le variazioni parametriche utili alle equazioni differenziali:

- β , Tasso di diffusione che rappresenta la probabilità di trasmissione della malattia tra un soggetto sensibile e un individuo infettivo.
- σ , Tasso di incubazione.
- γ , Tasso di recupero.
- μ , Tasso di natalità e mortalità.
- Per mantenere una popolazione costante $\mu = \nu$

- w , Tasso con cui gli individui recuperati ritornano allo stato sensibile a causa della perdita dell'immunità.

1.2.2 Il Diagramma

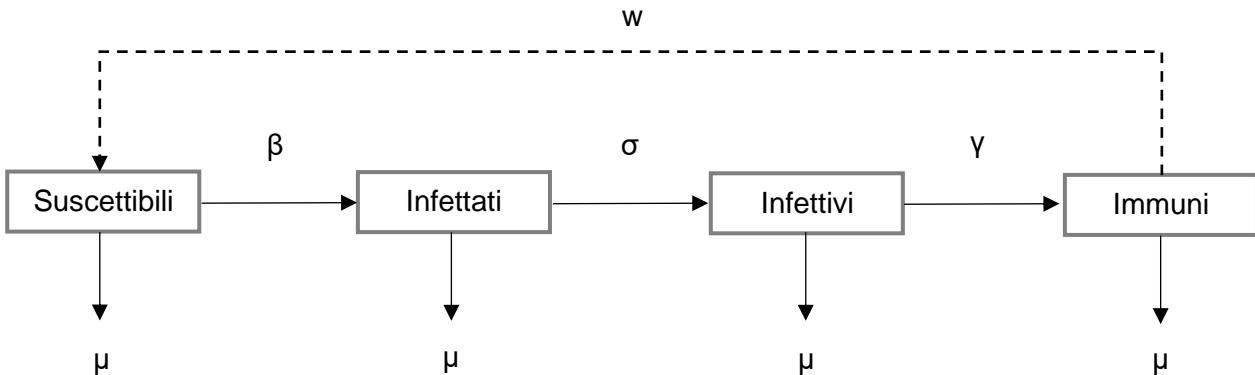


Figura 1 Stati dell'individuo in caso di epidemia

Il diagramma nella **Figura 1** mostra come gli individui passano da uno stato all'altro secondo i diversi parametri rappresentati.

Il suscettibile passa ad infettato nel caso in cui abbia contratto il virus dipendendo dal tasso di diffusione che rappresenta la probabilità di trasmissione della malattia tra un infettivo e un soggetto suscettibile.

Gli infettati passano ad infettivi dopo un certo periodo di incubazione, ovvero rappresenta il periodo di tempo che intercorre fra il contagio e lo sviluppo dei sintomi clinici.

Gli infettivi passano poi ad immuni in quanto o sono totalmente guariti, o perché sono stati isolati o perché sono deceduti sia per cause naturali sia in seguito al contagio stesso.

In caso di perdita dell'immunità, l'individuo diventa di nuovo suscettibile.

D'altra parte è da notare come in ogni stato ci possa essere un tasso di mortalità dato che l'individuo in determinati stati potrebbe decedere.

1.2.3 Le equazioni

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= -\mu S + wR + \nu N - \frac{\beta SI}{N - Nu} \\
 \frac{dE}{dt} &= -(\mu + \sigma)E + \frac{\beta SI}{N} \\
 \frac{dI}{dt} &= \sigma E - (\mu + \gamma)I \\
 \frac{dR}{dt} &= \gamma I - (\mu + w)R + Nu
 \end{aligned} \tag{1}$$

Per semplificare la notazione delle equazioni (1) si fissa:

$$x_1 = S$$

$$x_2 = E$$

$$x_3 = I$$

$$x_4 = R$$

e dunque la (1) diventa

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -\mu x_1 + w x_4 + vN - \frac{\beta x_1 x_3}{N - Nu} \\ \dot{x}_2 &= -(\mu + \sigma) x_2 + \frac{\beta x_1 x_3}{N} \\ \dot{x}_3 &= \sigma x_2 - (\mu + \gamma) x_3 \\ \dot{x}_4 &= \gamma x_3 - (\mu + w) x_4 + Nu\end{aligned}\tag{2}$$

dove la popolazione totale

$$N = S + E + I + R = x_1 + x_2 + x_3 + x_4\tag{3}$$

1.3 Analisi e controllo con Matlab

L' analisi ed il controllo di una diffusione dell'epidemia può essere fatta con i programmi **s_epidemia.m**, **epidemia.mdl**, **fepidemia.m**, **fcontr_epidemia.m** degli Autori, in cui N_r è la "traiettoria" di riferimento.

Nel paragrafo seguente sono riportati gli andamenti di S , E , I , R , N_r , V , e, nell'ipotesi di variazioni parametriche *random* mentre le condizioni iniziali prelevate dai dati della Protezione Civile il giorno 9 Marzo 2020, ovvero il giorno in cui sono state imposte dallo stato tutte le misure straordinarie di contenimento.

1.3.1 Import dei dati su MatLab



*È possibile provare il programma nella cartella allegata: Modello SEIR → ms_epidemia.m**

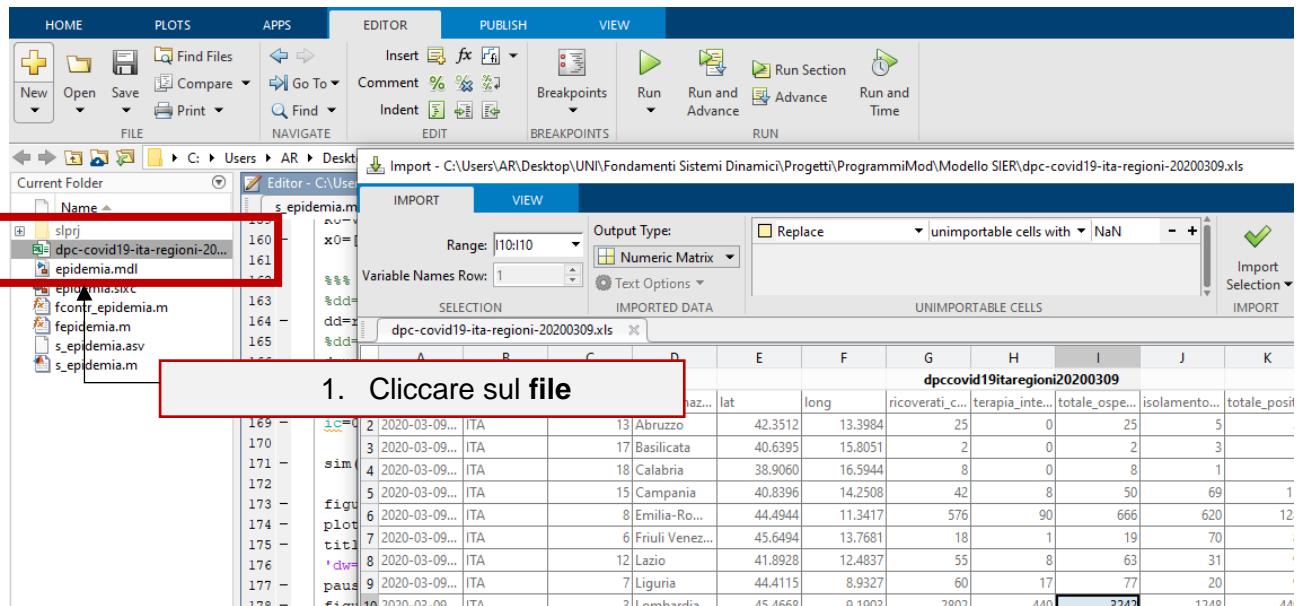
Prima di eseguire i programmi è bene preparare i dati su cui analizzare il fenomeno, si è dunque scaricato dal sito di monitoraggio del COVID-19 del Dipartimento della Protezione Civile il file.xls, la tabella riepilogativa regionale del giorno 20 Marzo 2020. In **figura 2** è possibile verificare i dati di quel giorno.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U
1	data	stato	codice_redenominazione	lat	long	ricoverati	terapia_in_totale_ospiti	isolamento_totale_positivi	variazione_tamponi	nuovi_positivi	dimessi_g	deceduti	popolazione_totale_residente	tamponi	casi_testati	note				
2	2020-03-09T: ITA	13 Abruzzo	42,35122	13,39844		25	0	25	5	30	13	13	0	0	1326513	30	237			
3	2020-03-09T: ITA	17 Basilicata	40,63947	15,80515		2	0	2	3	5	1	1	0	0	573694	5	135			
4	2020-03-09T: ITA	18 Calabria	38,90598	16,5944		8	0	8	1	9	0	2	0	0	1970521	11	173			
5	2020-03-09T: ITA	15 Campania	40,83957	14,25085		42	8	50	69	119	19	19	1	0	5850850	120	980			
6	2020-03-09T: ITA	8 Emilia-Romagna	44,49437	11,34172		576	90	666	620	1286	189	206	30	70	4448146	1386	4906			
7	2020-03-09T: ITA	6 Friuli Venezia Giulia	45,64944	13,76814		18	1	19	70	89	36	36	3	1	1221218	93	1344			
8	2020-03-09T: ITA	12 Lazio	41,89277	12,48367		55	8	63	31	94	13	15	3	5	5888472	102	1929			
9	2020-03-09T: ITA	7 Liguria	44,41149	8,932699		60	17	77	20	97	30	31	5	7	1571053	109	611			
10	2020-03-09T: ITA	3 Lombardia	45,46679	9,190347		2802	440	3242	1248	4490	1118	1280	646	333	10008349	5469	20135			
11	2020-03-09T: ITA	11 Marche	43,61676	13,51888		136	47	183	130	313	48	51	0	10	1543752	323	1250			
12	2020-03-09T: ITA	14 Molise	41,55775	14,65916		4	2	6	8	14	0	0	0	0	312027	14	212			
13	2020-03-09T: ITA	21 P.A. Bolza	46,49933	11,35662		8	0	8	1	9	0	0	0	0	520891	9	36			
14	2020-03-09T: ITA	22 P.A. Trento	46,06894	11,12123		10	2	12	21	33	10	10	0	0	1059114	33	267			
15	2020-03-09T: ITA	1 Piemonte	45,07327	7,680687		222	50	272	65	337	-18	-10	0	13	4404246	350	1681			
16	2020-03-09T: ITA	16 Puglia	41,1256	16,86737		20	6	26	20	46	10	10	1	3	4077166	50	685			
17	2020-03-09T: ITA	20 Sardegna	39,21531	9,110616		8	0	8	11	19	8	8	0	0	1658138	19	185			
18	2020-03-09T: ITA	19 Sicilia	38,1157	13,36236		19	0	19	33	52	1	1	2	0	5074261	54	836			
19	2020-03-09T: ITA	9 Toscana	43,76923	11,25589		107	9	116	90	206	41	42	1	1	3744398	208	2018			
20	2020-03-09T: ITA	10 Umbria	43,10676	12,38825		4	2	6	22	28	2	2	0	0	891181	28	183			
21	2020-03-09T: ITA	2 Valle d'Aosta	45,7375	7,320149		4	0	4	11	15	6	6	0	0	127329	15	67			
22	2020-03-09T: ITA	5 Veneto	45,4349	12,33845		186	51	237	457	694	71	74	30	20	4915123	744	15956			
23																				

Figura 2 File dati-covid19-200903

*Per l'esecuzione del file è importante caricare i dati per un suo corretto funzionamento.

Si passa poi a caricare il file nella directory di lavoro in cui sono presenti i programmi di analisi e controllo. Grazie a **MatLab** è possibile importare i dati nel workspace seguendo i seguenti passi:



Matlab ha a disposizione la possibilità di gestire anche le tabelle

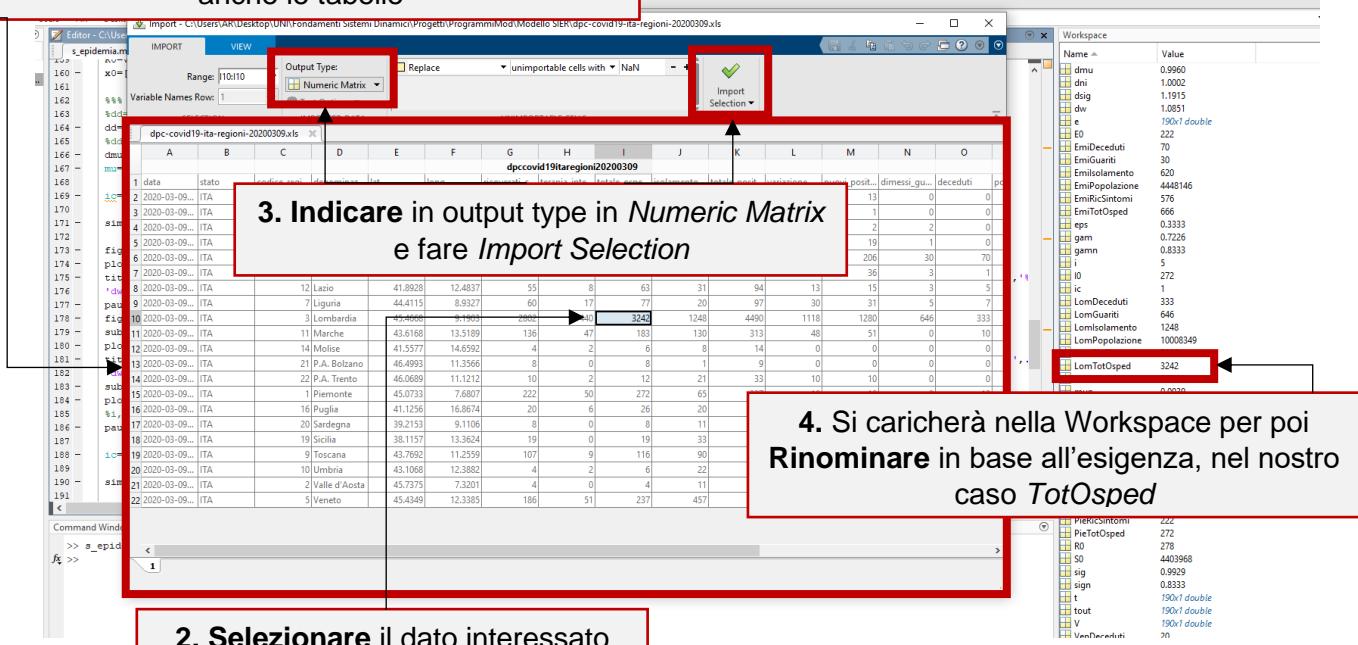


Figura 3 Import dei dati .xls su Matlab

Si ripetono i passaggi (**Figura 3**) fino a quando non riempiamo la workspace con i dati utili per l'analisi.

Nel caso in esame si è scelto di fare delle analisi sulle regioni italiane più colpite dal Coronavirus caricando le condizioni iniziali del programma **ms_epidemia.m**.

Le regioni scelte sono la Lombardia, Emilia Romagna, Veneto e Piemonte.

1.3.2 Condizioni Iniziali

La tabella della protezione civile presenta il seguente schema:

Nome campo	Descrizione	Formato	Esempio
<i>codice_regione</i>	Codice della Regione (ISTAT 2019)	Numero	13
<i>denominazione_regione</i>	Denominazione della Regione	Testo	Abruzzo
<i>data</i>	Data dell'informazione	YYYY-MM-DD HH:MM:SS (ISO 8601) Ora italiana	2020-03-05 12:15:45
<i>ricoverati_con_sintomi</i>	Ricoverati con sintomi	Numero	3
<i>terapia_intensiva</i>	Ricoverati in terapia intensiva	Numero	3
<i>totale_ospedalizzati</i>	Totale ospedalizzati	Numero	3
<i>isolamento_domiciliare</i>	Persone in isolamento domiciliare	Numero	3
<i>totale_positivi</i>	Totale attualmente positivi (ospedalizzati + isolamento domiciliare)	Numero	3
<i>variazione_totale_positivi</i>	Variazione del totale positivi (totale_positivi giorno_corrente - totale_positivo giorno precedente)	Numero	3
<i>nuovi_positivi</i>	Nuovi attualmente positivi (totale_casi giorno corrente - totale_casi giorno precedente)	Numero	3
<i>dimessi_guariti</i>	Persone dimesse guarite	Numero	3
<i>deceduti</i>	Persone decedute	Numero	3
<i>totale_casi</i>	Totale casi positivi	Numero	3
<i>tamponi</i>	Totale tamponi	Numero	3
<i>casi_testati</i>	Totale dei soggetti sottoposti al test	Numero	3
<i>note_it</i>	Note in lingua italiana (separate da ;)	Testo	pd-IT-000
<i>note_en</i>	Note in lingua inglese (separate da ;)	Testo	pd-EN-000
<i>popolazione</i>	I residenti totale della regione	Numero	1234665

Seguendo l'individuazione dei parametri nel punto **1.2.1** fisso i seguenti parametri della tabella

S_0 = Popolazione – Ricoverati con Sintomi – Totale Ospedalizzati – Dimessi guariti – Isolamento – Deceduti – Deceduti Morte Naturale*

E_0 = Ricoverati con sintomi

I_0 = Totale Ospedalizzati

R_0 = Dimessi guariti + Isolamento domiciliare + Deceduti dal virus + Deceduti Morte Naturale*

*Dati prelevati dall'ISTAT 2019

1.4.1 Editor Matlab

Per effettuare determinate modifiche al programma degli autori si fa riferimento al codice.

```

fepidemia.m  ×  fcontr_epidemia.m  ×  s_epidemia.m  ×  +
1
2      % Modello di diffusione di un'epidemia
3      % G. e L. Celentano
4
5      function Nxp=fepidemia(vx)
6
7      global mu gam sig w ni bet
8
9      v=vx(1);x=vx(2:5);
10     N=sum(x);
11     xp1=-mu*x(1)+w*x(4)+ni*N-bet*x(1)*x(3)/N-N*v;
12     xp2=-(mu+sig)*x(2)+bet*x(1)*x(3)/N;
13     xp3=sig*x(2)-(mu+gam)*x(3);
14     xp4=gam*x(3)-(mu+w)*x(4)+N*v;
15
16     Nxp=[N xp1 xp2 xp3 xp4]';
17
18 end
19

```

fepidemia.m è il programma utile per la stesura delle equazioni (1) presenti nel punto 1.2.1

```

fepidemia.m  ×  fcontr_epidemia.m  ×  s_epidemia.m  ×  +
1
2      % Legge di controllo dell'epidemia
3      % G. e L. Celentano
4
5      function V=fcontr_epidemia(u)
6
7      global mun gammn sign wn nin bettn a ic
8
9      N=sum(u(3:6));Nrp=u(1);e=u(2);I=u(5);R=u(6);
10     V=((mun+wn)*R-gammn*I+Nrp-e/a)/N*ic;
11
12 end
13
14

```

fcontr_epidemia permette di creare la funzione della legge di controllo dell'epidemia calcolando anche la V (vaccinazione) che dal codice si evince come:

$$V = \frac{(\mu + w)R - \gamma I + N_r - \frac{e}{a}}{NI_c}$$

ed infine il codice con le modifiche

```
feipidemia.m x fcontr_epidemia.m x s_epidemia.m x +
```

8
9 %% G. e L. Celentano - Modificato da Antonio Romano
10
11 %clc, close all, clear all
12
13 - global mun gamm sign wn nin betn a ic
14 - global mu gam sig w ni bet
15
16 %%% Parametri nominali %%%
17 - mun=1/255;
18 - gamm=1/1.2;
19 - sign=gamm;
20 - wn=1/12;
21 - nin=1/115;
22 - %nin=mun;
23 - betn=1.66;
24
25 %%% Parametri della legge di controllo %%%
26 - eps=1/3;
27 - a=.1;
28
29 %LOMBARDIA
30 %In R0 viene sommato circa 200 che indica la il numero dei deceduti che sono morte non per il virus nel mese di marzo
31 - for i=1:5
32
33 %%% Condizioni iniziali %%%
34 - %N0=1000;x0=rand(4,1);x0=x0*N0/sum(x0);R0=x0(4);
35 - S0=LomPopolazione - LomRicSintomi - LomTotOsped - LomGuariti - LomIsolamento - LomDeceduti - 200;
36 - E0=LomRicSintomi;
37 - I0=LomTotOsped;
38 - R0=LomGuariti + LomIsolamento + LomDeceduti + 200;
39 - x0=[S0 E0 I0 R0];N0=sum(x0);
40
41 %%% Incertezze dei parametri %%%
42 - %dd=ones(6,1);
43 - dd=xrand(6,1)/2.5-.2+1;
44 - %dd=rand(6,1)/5-.1+1;
45 - dmu=dd(1);dgam=dd(2);dsig=dd(3);dw=dd(4);dni=dd(5);dbet=dd(6);
46 - mu=dmu*mun;gam=dgam*gamm;sig=dsig*sign;w=dw*wn;ni=dni*nin;bet=dbet*betn;
47
48 - ic=0; %% Nessuna vaccinazione

...
52 - figure(1)
53 -
54 - title(['Lombardia - Dal 9 Marzo 2020 - Diffusione COVID-19 - Senza Misure di Contenimento ':'id=0 - ']
55 - 'dw=' num2str((dw-1)*100), '%', 'd\nw=' num2str((dni-1)*100), '%', d\beta=' num2str((dbet-1)*100), '%'])
56 - pause

Fissate le condizioni iniziali per regione scelta.

Modificato le intestazioni dei grafici per una migliore lettura

E fatto la stessa cosa per le altre regioni:

```
88 %EMILIA ROMAGNA
89 -  
90
91 %% Condizioni iniziali %%
92 %NO=1000;x0=rand(4,1);x0=x0*NO/sum(x0);R0=x0(4);
93 - SO=EmiPopolazione - EmiRicSintomi - EmiTososped - EmiGuariti - EmiIsolamento - EmiDeceduti - 200;
94 - EO=EmiRicSintomi;
95 - IO=EmiTososped;
96 - RO=EmiGuariti + EmiIsolamento + EmiDeceduti + 200;
97 - x0=[SO EO IO RO]';NO=sum(x0);

146 %VENEZIA
147 -  
148
149 %% Condizioni iniziali %%
150 %NO=1000;x0=rand(4,1);x0=x0*NO/sum(x0);R0=x0(4);
151 - SO=VenPopolazione - VenRicSintomi - VenTotOspe - VenGuariti - VenIsolamento - VenDeceduti - 200;
152 - EO=VenRicSintomi;
153 - IO=VenTotOspe;
154 - RO=VenGuariti + VenIsolamento + VenDeceduti + 200;
155 - x0=[SO EO IO RO]';NO=sum(x0);

204 %PIEMONTE
205 -  
206
207 %% Condizioni iniziali %%
208 %NO=1000;x0=rand(4,1);x0=x0*NO/sum(x0);R0=x0(4);
209 - SO=PiePopolazione - PieRicSintomi - PieTotOspe - PieGuariti - PieIsolamento - PieDeceduti - 200;
210 - EO=PieRicSintomi;
211 - IO=PieTotOspe;
212 - RO=PieGuariti + PieIsolamento + PieDeceduti + 200;
213 - x0=[SO EO IO RO]';NO=sum(x0);
```

1.5 Esecuzione del programma ed analisi

Parametri Lombardia

Nome Variabile	Value
LomRicSintomi	2802
LomTotOsped	3242
LomGuariti	646
LomIsolamento	1248
LomDeceduti	333
LomPopolazione	10008349

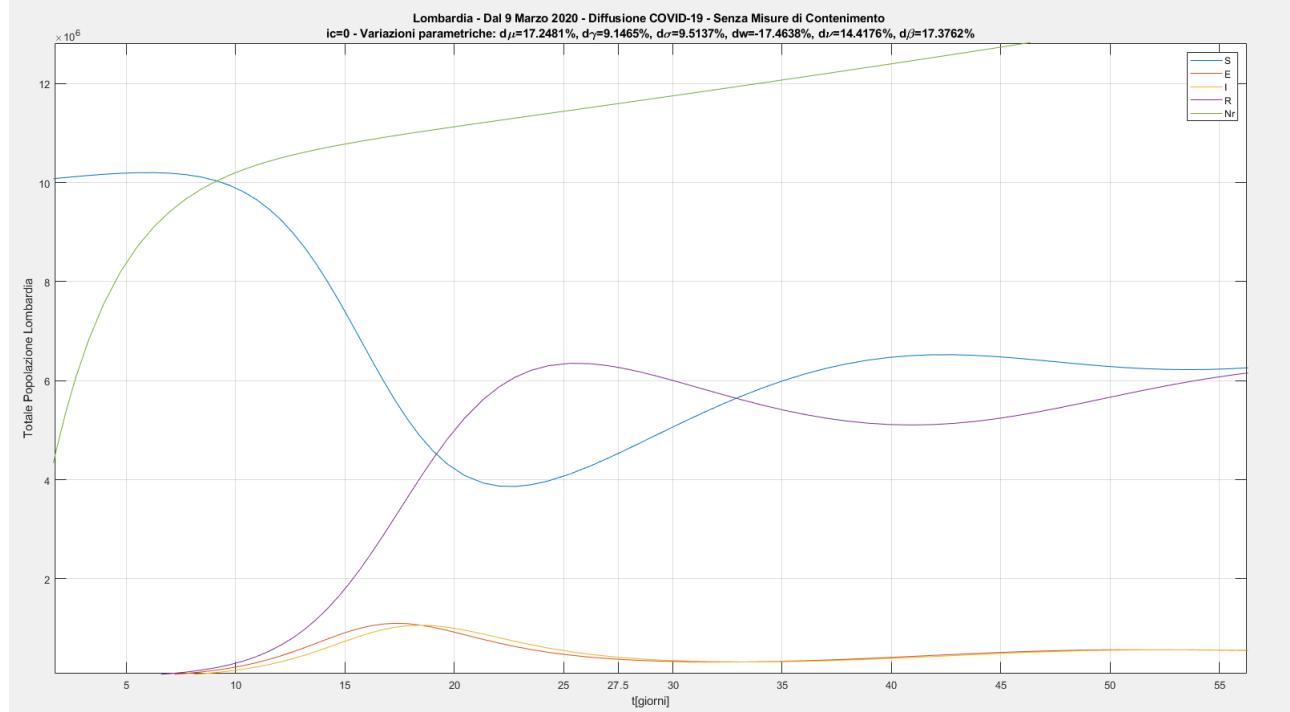


Figura 4 Diffusione senza vaccino in Lombardia e senza misure di contenimento

Dal grafico (**Figura 4**) si deduce dei numeri al quanto enormi per la diffusione dell'epidemia, senza considerare ovviamente le misure di contenimento che sono state attuate dal 9 marzo 2020, i numeri sarebbero stati letali per la regione Lombarda e non solo. I suscettibili sarebbero scesi dopo il decimo giorno ed essere circa 4 milioni intorno il ventesimo giorno per poi salire verso i 6 milioni intorno al quarantesimo giorno e stabilizzarsi su di lì. Si sarebbe avuto un picco di Infettivi intorno al diciottesimo o diciannovesimo giorno come anche gli infetti che si sarebbero aggirati intorno al milione. Si sarebbe avuto un picco dei rimossi intorno al 25esimo giorno e poi arrivare al 60esimo giorno intorno ai 6 milioni. In presenza di un possibile vaccino (**Figura 5**) la diffusione si stravolge in meglio azzerando tutti i numeri anticipati nel grafico di sopra dopo il decimo giorno.

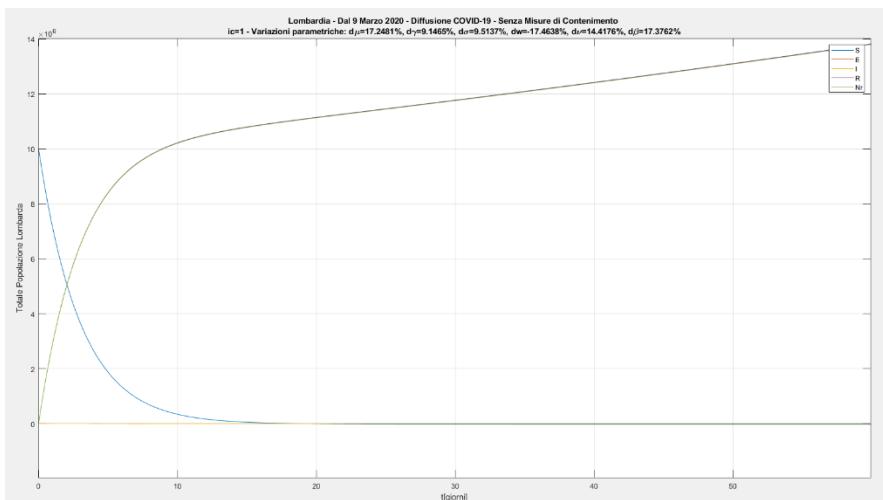
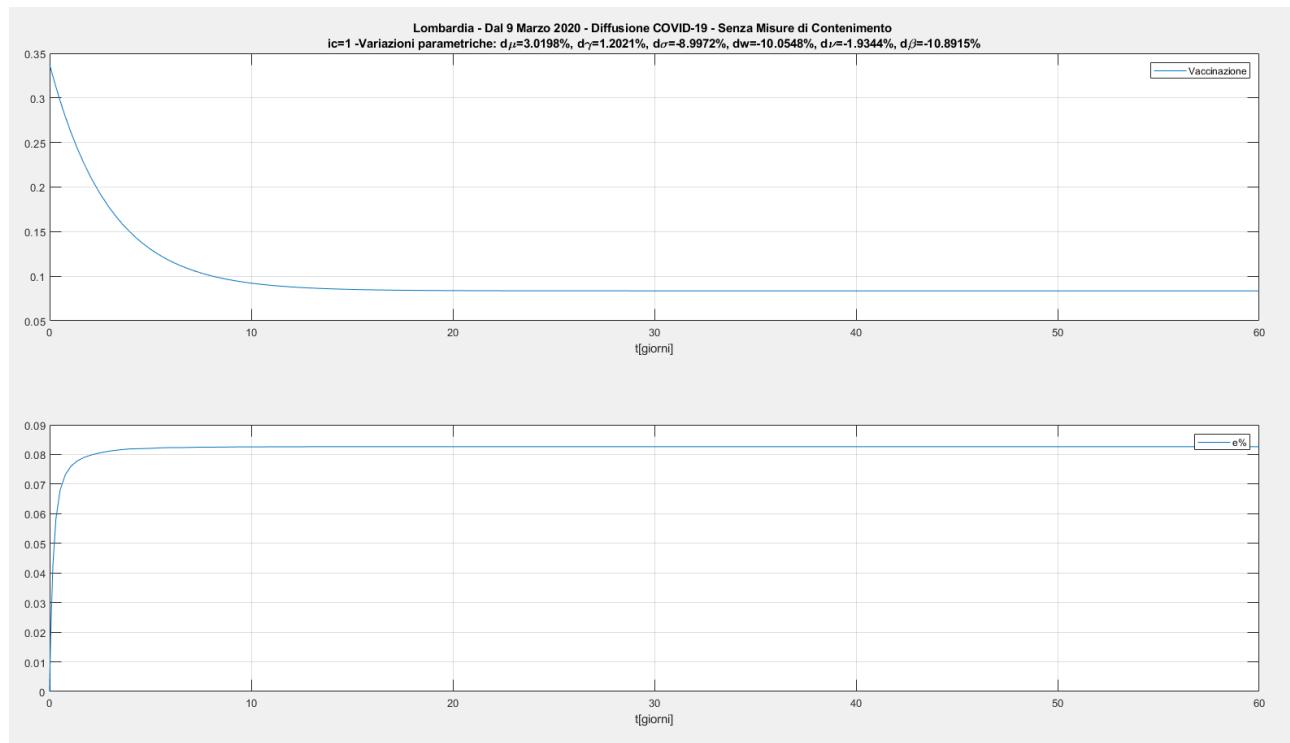


Figura 5 Diffusione con vaccino in Lombardia

L'andamento della vaccinazione in Lombardia tende sotto i 0.1 verso l'ottavo giorno e l'andamento della "e%" tende sopra ao 0,08 intorno il secondo e terzo giorno.



Parametri Emilia Romagna

Nome Variabile	Value
EmiRicSintomi	576
EmiTotOsped	666
EmiGuariti	30
Emisolamento	620
EmiDeceduti	70
EmiPopolazione	4448146

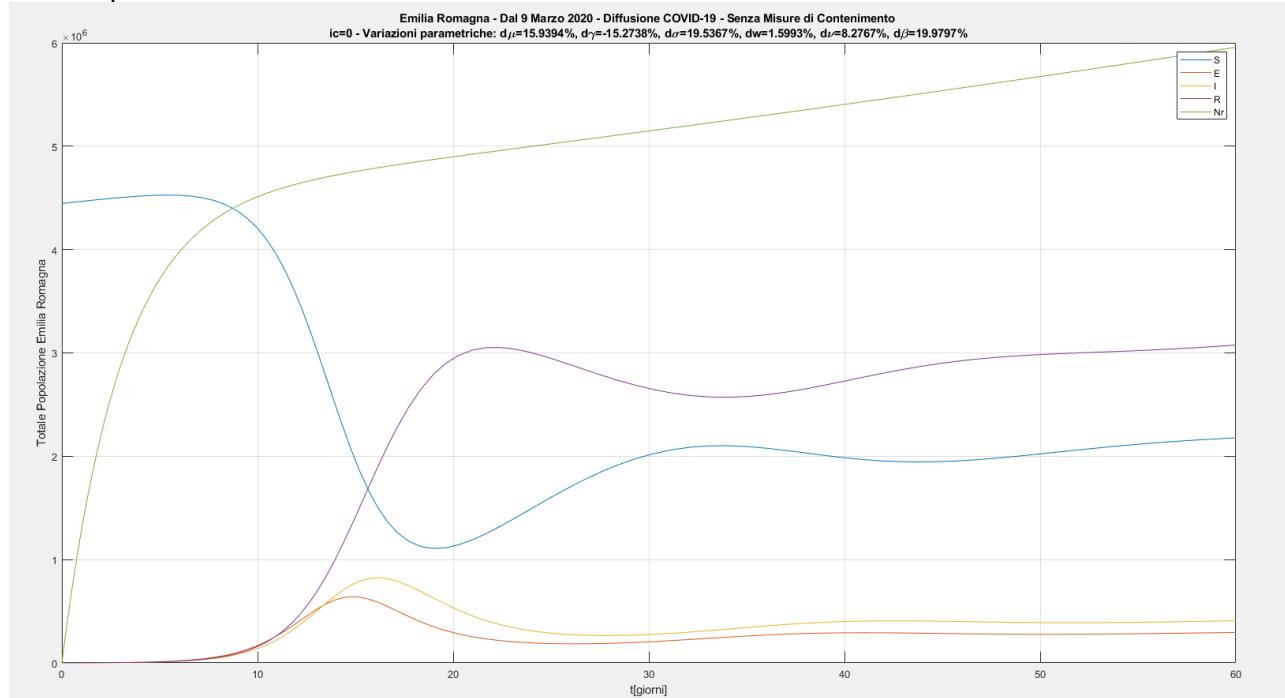


Figura 6 Diffusione senza vaccino in Emilia Romagna e senza misure di contenimento

In Emilia Romagna (**Figura 6**) il numero dei suscettibili è sicuramente più basso della Lombardia ma si sarebbe avuto un picco di infettivi e di infetti intorno il sedicesimo e diciassettesimo giorno con una discesa rilevante dei suscettibili intorno al 1.1 milioni verso il ventesimo giorno per poi salire verso i 2 milioni intorno al trentatreesimo giorno e stabilizzarsi su di li. Il picco dei rimossi si sarebbe avuto intorno il 25esimo giorno. Il numero dei casi, ovviamente sarà più basso rispetto alla Lombardia proprio per la differenza della popolazione che risiede nel territorio lombardo.

In presenza del vaccino (**Figura 7**), anche qui la diffusione del virus sarebbe abbattuta intorno il decimo giorno.

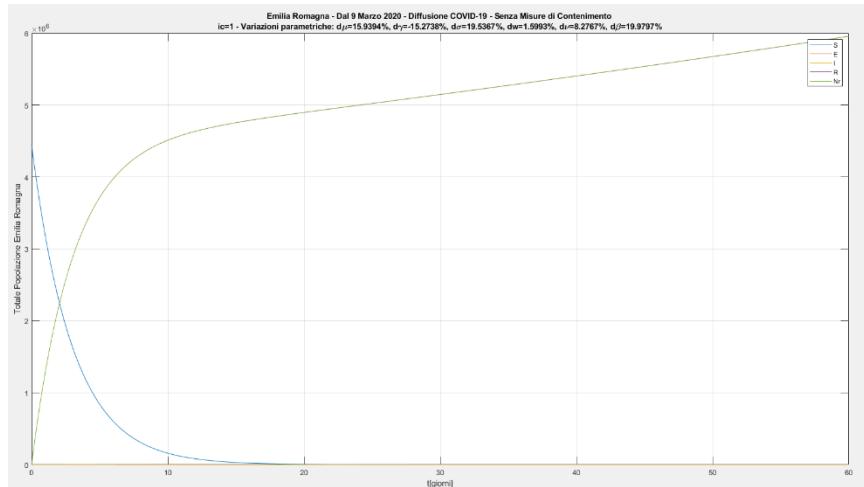
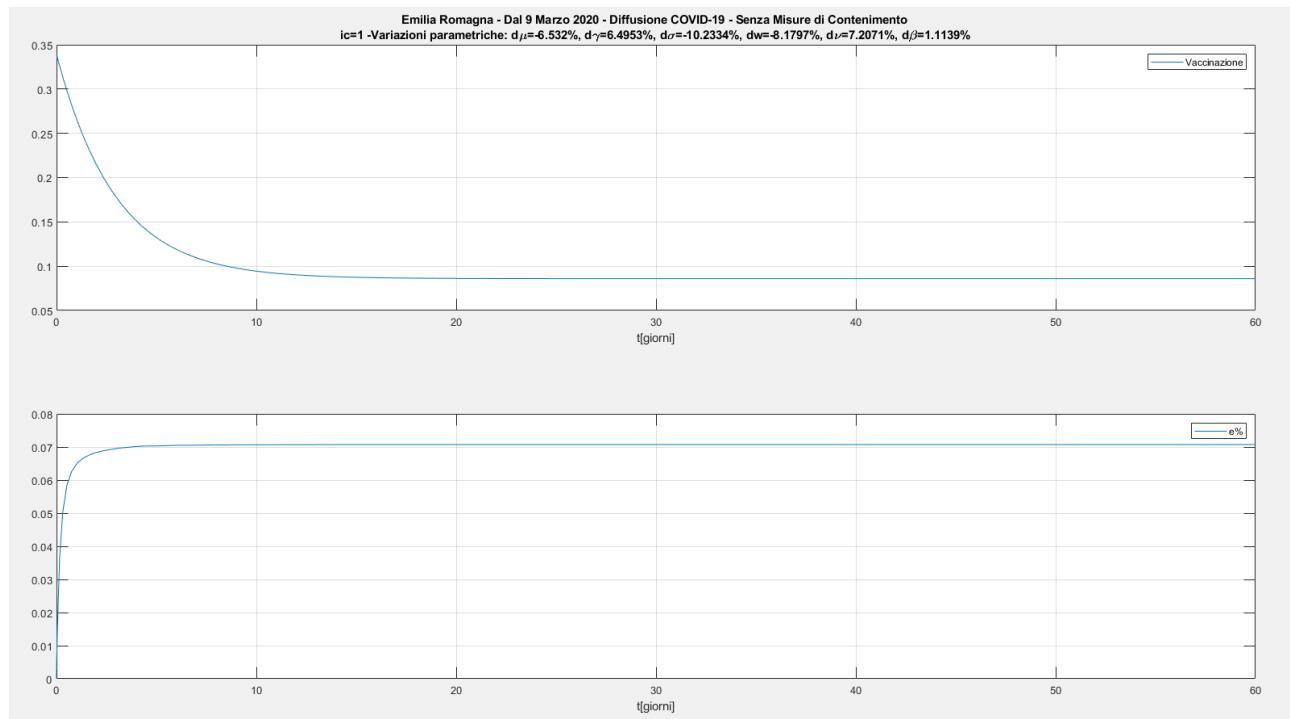


Figura 7 Diffusione con vaccino in Emilia Romagna

In Emilia Romagna, l'andamento della vaccinazione tende a 0,1 circa intorno l'ottavo giorno mentre l' "e%" tende a 0,07.



Parametri Veneto

Nome Variabile	Value
VenRicSintomi	186
VenTotOsped	237
VenGuariti	30
VenIsolamento	457
VenDeceduti	20
VenPopolazione	4915123

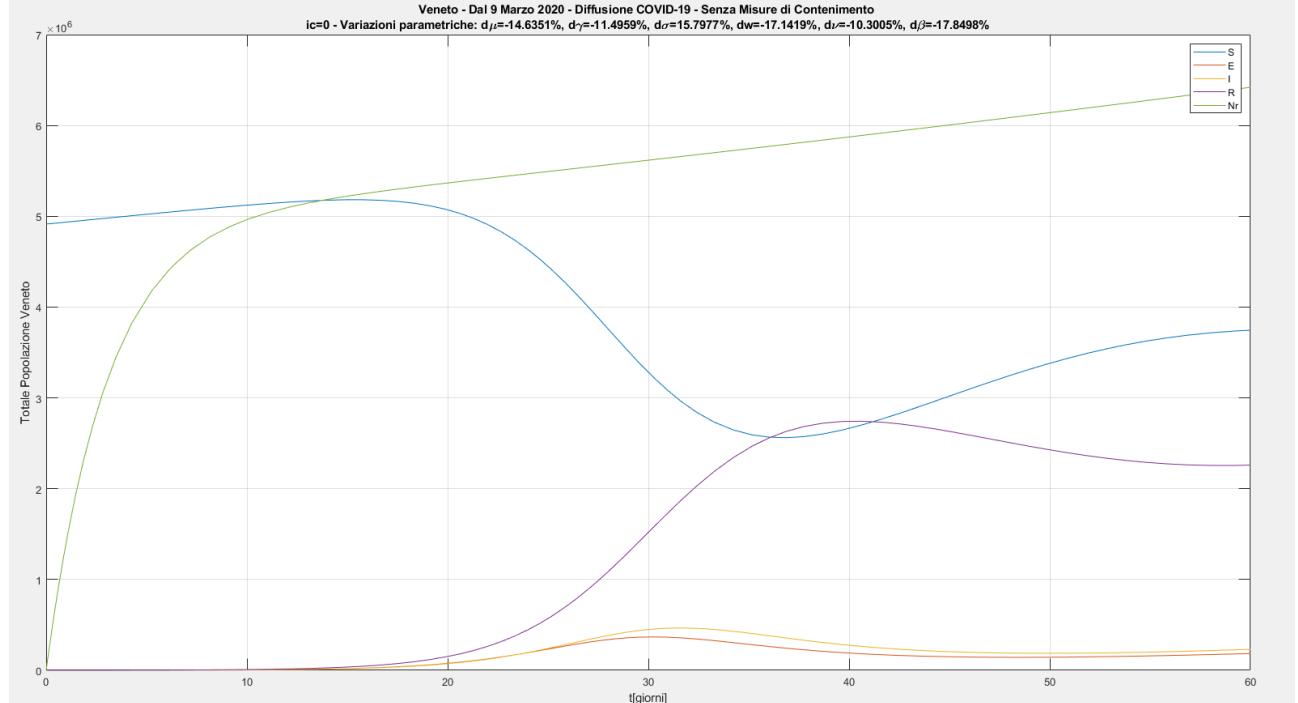
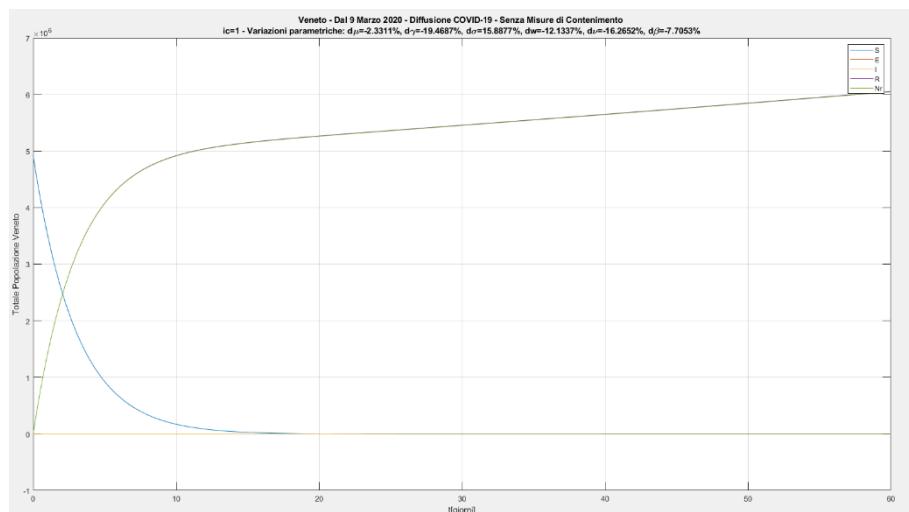


Figura 8 Diffusione senza vaccino in Veneto e senza contenimento

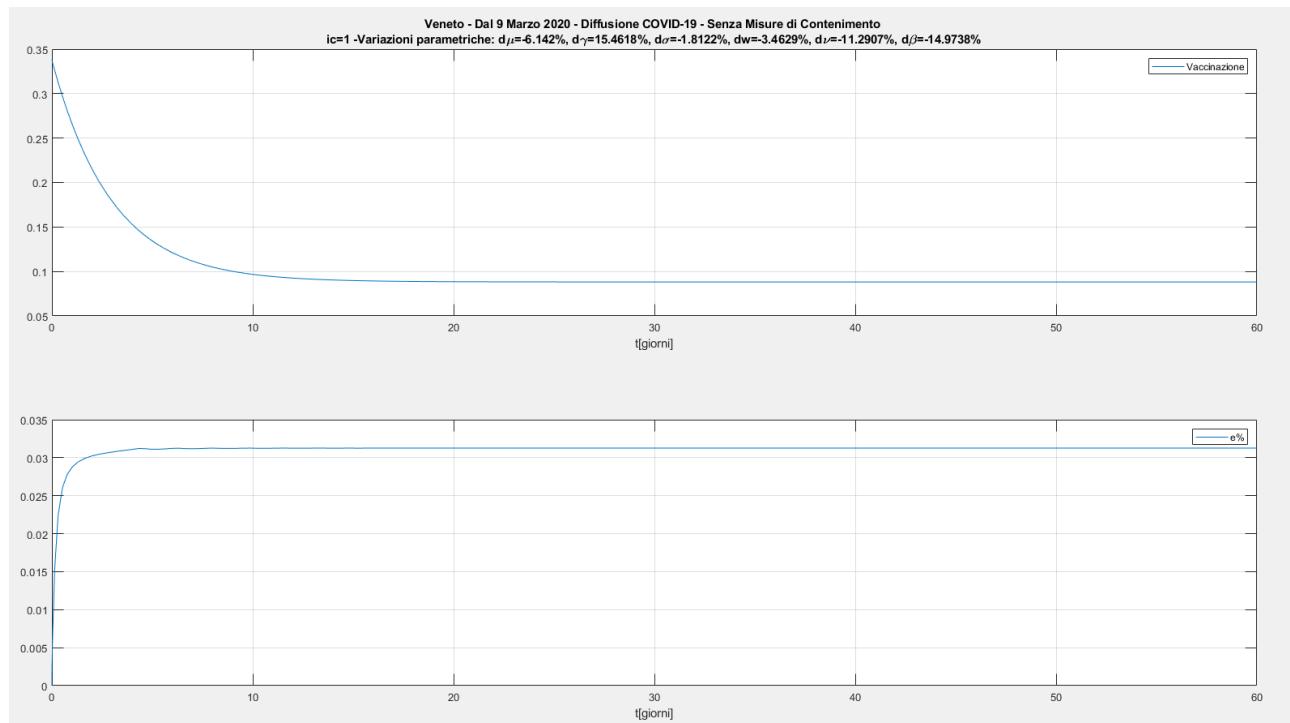
Nel Veneto (**Figura 8**), i casi del 9 marzo sono bassi rispetto alle due regioni precedenti, d'altra parte il numero dei suscettibili si abbassava intorno il 35esimo giorno, dopo il picco degli infetti e infatti che si poteva avere intorno il trentesimo giorno. I rimossi dal ventesimo giorno aumentano fino a poter avere un picco nel quarantesimo giorno (circa 2.8 milioni di persone rimosse) e stabilizzarsi verso i 2.3 milioni.



Anche qui la presenza del vaccino sarebbe stato l'ideale, in 10 giorni la diffusione sarebbe stata abbattuta. (**Figura 9**)

Figura 9 Diffusione con vaccino in Veneto

Nel Veneto invece la vaccinazione tende sotto ai 0.1 intorno il nono giorno in poi mentre l' "e%" tende sopra ai 0,03 dal secondo giorno.



Parametri Piemonte

Nome Variabile	Value
PieRicSintomi	222
PieTotOsped	272
PieGuariti	0
Pielisolamento	65
PieDeceduti	13
PiePopolazione	4404246

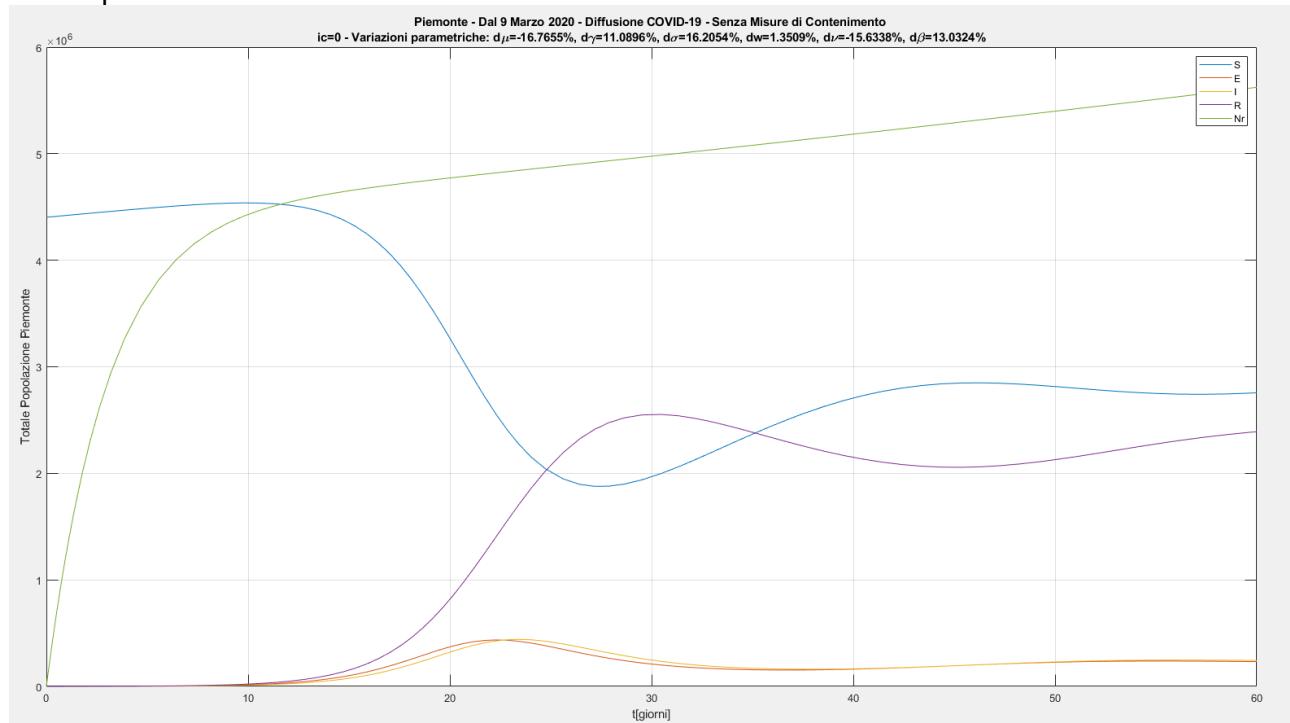
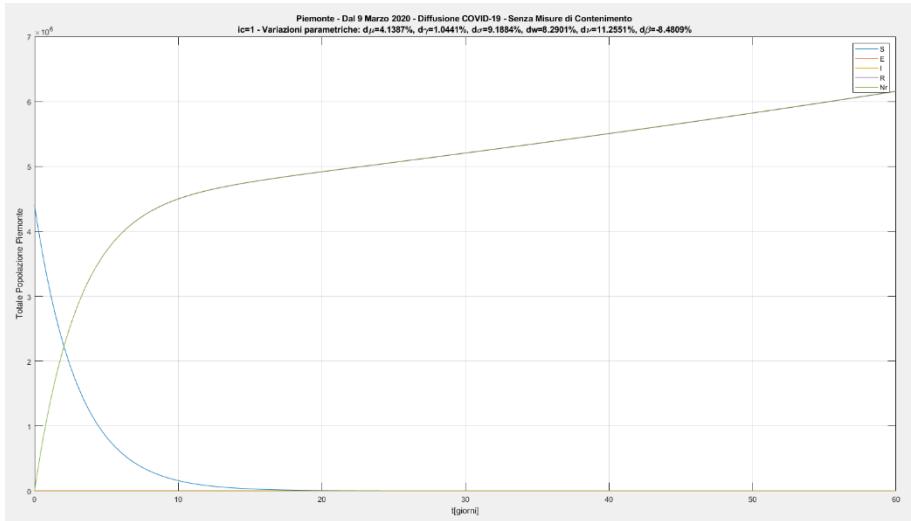


Figura 10 Diffusione senza vaccino in Piemonte e senza contenimento

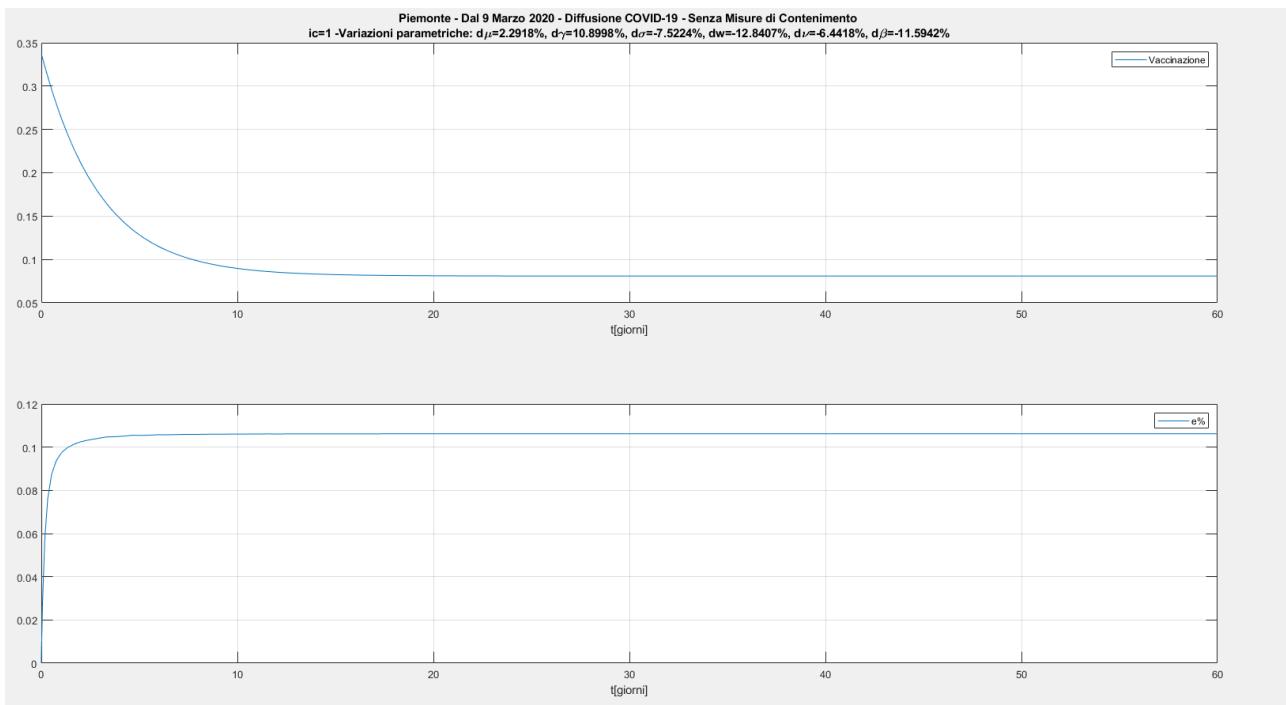
In Piemonte (**Figura 10**) c'è un dato rilevante, infatti il 9 Marzo 2020 non è stato registrato nessuno guarito. Tuttavia il picco di infetti e infettivi si aveva intorno il 22esimo giorno con i suscettibili che scendevano intorno i 2 milioni verso il 30esimo giorno e salendo sotto i 3 milioni verso il sessantesimo giorno. Il picco dei rimossi si aveva anche qui intorno il 30esimo giorno.



Presenza del vaccino anche qui determinante. (**Figura 11**)

Figura 11 Diffusione con vaccino in Piemonte

Nel Piemonte la vaccinazione tende sotto ai 0,1 dall'ottavo giorno in poi mentre l' "e%" tende a 0,1 dal secondo giorno.



1.6 Conclusioni

Si deduce dunque, come il virus sarebbe stato letale se non ci fossero state le misure di contenimento attuate dal 9 Marzo. Oltre tutto importante notare come con la presenza del vaccino non saremmo arrivati al punto tale di contare un numero di casi elevatissimi e gravi. Un'altra notazione importante, come detto già in precedenza, si è analizzata una possibile diffusione del COVID nelle regioni in cui quest'ultimo ha colpito di più e con una popolazione molto ampia così da poter visualizzare una diffusione dell'infezione molto più rapida essendo il tasso di contatto sia alto e che i parametri del modello dipendono strettamente **dalla dinamica del virus e all'interazione tra esseri umani**.

2. Edifici in zona sismica

2.1 Introduzione

I terremoti e le azioni che producono sulle costruzioni hanno sempre costituito un'insidia con la quale i costruttori si sono dovuti confrontare. Sebbene i terremoti possano avvenire solo in determinate zone del territorio italiano (**Figura 12**). I costruttori di tutte le epoche hanno esplorato soluzioni diverse per realizzare edifici capaci di resistere al sisma e la ricerca in tale direzione ha trovato stimoli continui.

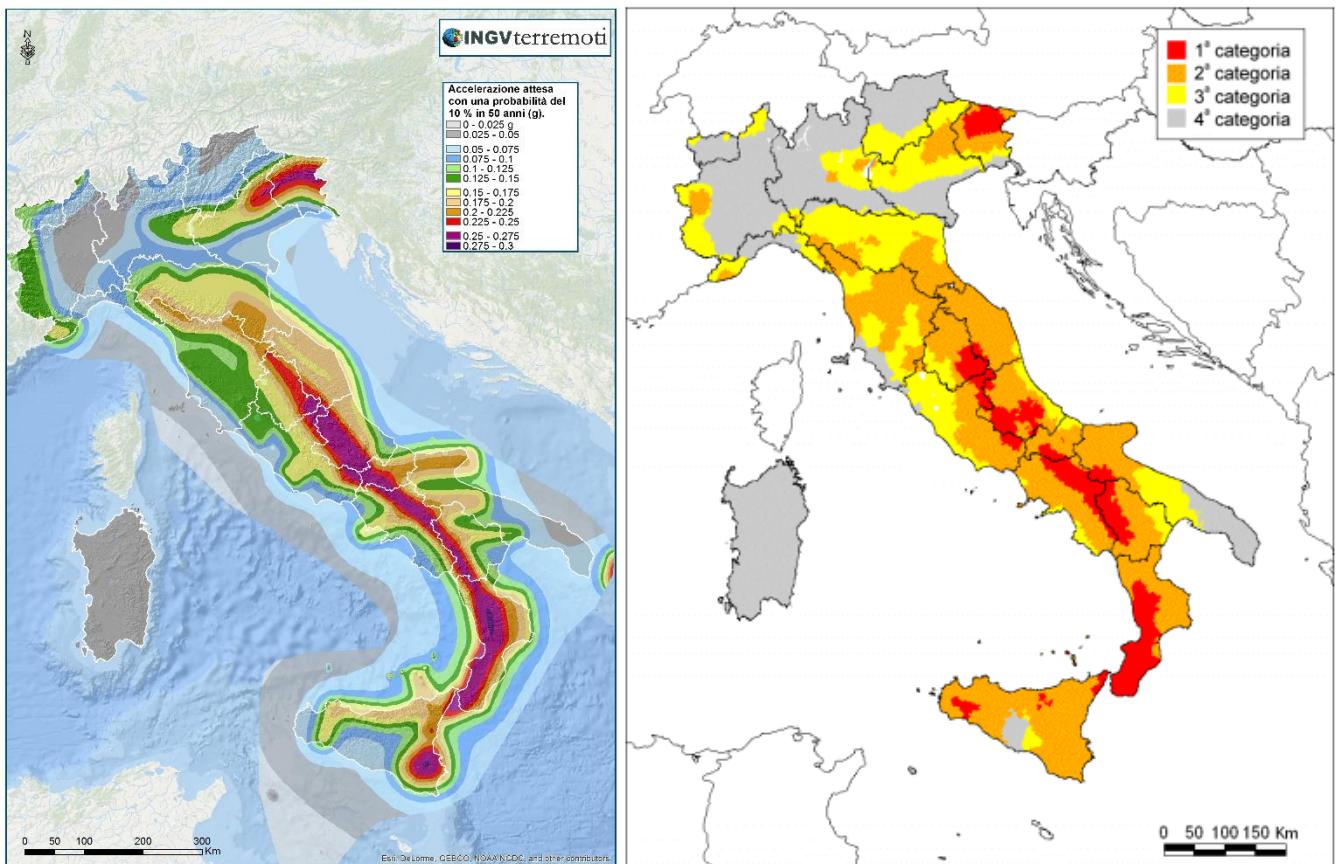


Figura 12 Rischio sismico in Italia (a sinistra) e suddivisione in zone (a destra)

Le tipologie strutturali degli edifici che si sono diffuse maggiormente in Italia sono gli edifici in muratura, risalente a diversi secoli fa e a quelli a telaio in cemento armato e acciaio, inventata e messa in atto solo nell'ultimo secolo. Si hanno altre tipologie come la strutturazione mista in acciaio e calcestruzzo fino ad una struttura realizzata interamente in legno. I criteri generali di progettazione in zona sismica sono diversi tant'è vero che le costruzioni devono essere dotate di sistemi strutturali che garantiscono rigidezza e resistenza nei confronti delle due componenti ortogonali orizzontali delle azioni sismiche, tenendo conto anche degli effetti torsionali derivanti dall'azione sismica stessa. I solai orizzontali devono essere dotati di rigidezza e resistenza tali da trasmettere le forze scambiate tra i diversi sistemi resistenti verticali. Le costruzioni devono avere una **struttura iperstatica** caratterizzata da regolarità in pianta e in altezza ovvero se sono rispettate condizioni come ad esempio la simmetria di masse e rigidezze a due direzioni ortogonali in caso di regolarità in pianta, mentre la costruzione regolare in altezza se la massa e rigidezza sono costanti o variabili gradualmente dalla base alla sommità.

Dalla **Figura 12** a destra, l'Italia è divisa in zone sismiche:

Zona sismica	Fenomeni riscontrati
1	Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa . È la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.

dove discende una classificazione di realizzazione in altezza di edifici in base alla zona*.

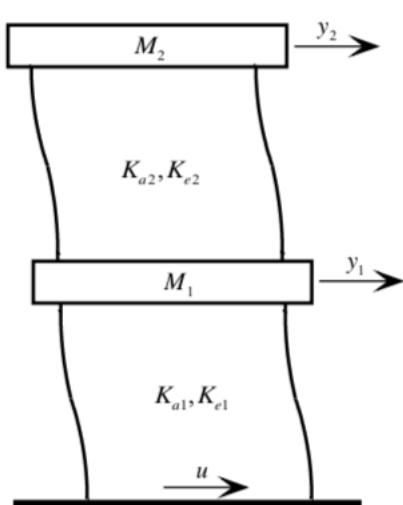
Zona Sismica	1	2	3	4
Sistema costruttivo	Altezza massima consentita in metri (m)			
Struttura in calcestruzzo armato	Nessuna limitazione			
Struttura in acciaio	Nessuna limitazione			
Struttura mista in acciaio e calcestruzzo	Nessuna limitazione			
Struttura muratura ordinaria	7,5 m	11 m	16 m	Nessuna Limitazione
Struttura muratura armata	13 m	19 m	25 m	Nessuna Limitazione
Struttura in legno	7 m	7 m	10 m	Nessuna Limitazione

*Dati estratti su internet e aggiornati al 2019

2.2 Modello matematico

Nel modello matematico consideriamo un edificio in zona sismica a 2 piani con i dati analizzati nel punto precedente, supponendo un sistema costruttivo e studiando il suo comportamento in Zona 1, ovvero la zona con pericolosità sismica **alta**.

2.2.1 Individuazione parametri



Nella **figura 13** individuiamo le variabili y_1 e y_2 che sono gli spostamenti dei solai del primo e del secondo piano, mentre u è lo spostamento delle fondazioni prodotto da una scossa sismica ondulatoria.

Figura 13 Schema edificio in zona sismica

Definendo poi i seguenti parametri:

Parametro	Value
u	Spostamento delle fondamenta
y ₁	Spostamento del primo solaio
y ₂	Spostamento del secondo solaio
K _{e1}	Rigidezza del primo piano
K _{a1}	Coefficiente di attrito del primo piano
K _{e2}	Rigidezza del secondo piano
K _{a2}	Coefficiente di attrito del secondo piano
M ₁	Massa totale del primo solaio
M ₂	Massa totale del secondo solaio
H ₁	Quota del primo solaio
H ₂	Quota del secondo solaio

2.2.2 Il modello

Determiniamo un primo modello *i-u*, imponendo l'equilibrio dinamico:

$$\begin{aligned} M_1 \ddot{y}_1 + K_{a1}(\dot{y}_1 - \dot{u}) + K_{e1}(y_1 - u) + K_{a2}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + K_{e2}(y_1 - y_2) &= 0 \\ M_2 \ddot{y}_2 + K_{a2}(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + K_{e2}(y_2 - y_1) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

ossia in forma compatta

$$M\ddot{y} + K_a\dot{y} + K_e y = H_d\dot{u} + H_p u \quad (5)$$

dove

$$M = \begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix}, \quad K_a = \begin{bmatrix} K_{a1} + K_{a2} & -K_{a2} \\ -K_{a2} & K_{a2} \end{bmatrix}, \quad K_e = \begin{bmatrix} K_{e1} + K_{e2} & -K_{e2} \\ -K_{e2} & K_{e2} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$H_d = \begin{bmatrix} -K_{a1} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad H_p = \begin{bmatrix} -K_{e1} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

da cui

$$\ddot{y} + A_1\dot{y} + A_2 y = B_1\dot{u} + B_2 u \quad (8)$$

$$\text{con } A_1 = M^{-1}K_a, \quad A_2 = M^{-1}K_e, \quad B_1 = M^{-1}H_d, \quad B_2 = M^{-1}H_p. \quad (9)$$

Ricaviamo, ora, il modello *i-s-u*, imponendo

$$\begin{cases} x_1 = y \\ x_2 = \dot{y} - B_1 u \end{cases} \quad (10)$$

Si ha dunque

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= \dot{y} = x_2 + B_1 u \\ \dot{x}_2 &= \ddot{y} - B_1 \dot{u} = -A_1(x_2 - B_1 u) - A_2 x_1 + B_2 u = -A_1 x_2 - A_2 x_1 + (B_2 - A_1 B_1) u\end{aligned}\quad (11)$$

e quindi

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -A_2 & -A_1 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 - A_1 B_1 \end{bmatrix} u = Ax + Bu, \quad (12)$$

$$y = [I \ 0]x = Cx \quad (13)$$

2.3.1 Analisi del modello ed esecuzione del programma edificio_sisma

Utilizzando il modello matematico ricavato precedentemente e definendo i parametri in base ai dati analizzati nel punto precedente, supponendo un sistema costruttivo e studiando il suo comportamento in Zona 1, ovvero la zona con pericolosità sismica **alta** è possibile analizzare il comportamento degli edifici e del sistema costruttivo tramite il programma **edificio_sisma.m** degli Autori.

2.3.2 Analisi edificio_sisma sistema costruttivo di legno

Iniziamo ad analizzare un edificio costruito in zona sismica con sistema costruttivo in legno.

Supponiamo di usare un legno di abete rosso poiché è un legno molto elastico e resistente, ottimo per una progettazione antisismica (**Figura 14**).

Parametri di simulazione del legno

Supponiamo i seguenti parametri sapendo che la costruzione del seguente edificio è in zona sismica classificata 1 e quindi con altezza massima di 7 metri.

Parametro	Value
K _{e1}	2.5e6
K _{a1}	8e4
K _{e2}	1.25e6
K _{a2}	5e4
M ₁	2.5e5 Kg
M ₂	1.25e5 Kg
H ₁	3.5 m
H ₂	7 m



Figura 14 Struttura costruttiva in legno di abete rosso

```

12      % Dati dell'edificio in legno
13      M1=2.5e5;    % massa totale del primo solaio
14      M2=1.25e5;   % massa totale del secondo solaio
15      K1=8e4;     % coefficiente di attrito del primo piano
16      K2=5e4;     % coefficiente di attrito del secondo piano
17      Ke1=2.5e6;   % rigidezza del primo piano
18      Ke2=1.25e6;  % rigidezza del secondo piano
19      H1=3.5;      % quota del primo solaio
20      H2=7;        % quota del secondo solaio

```

Figura 15 Condizioni iniziali in Matlab del sistema costruttivo in legno.

2.3.3 Simulazione edificio_sisma sistema costruttivo in legno

Un primo risultato che fornisce la simulazione è la risposta in frequenza del primo e del secondo solaio sottoposti all'azione del sisma. (**Figura 16**) È necessario notare che si sovrappongono due modi, uno di frequenza 0,356 Hz e l'altro di 0,709 Hz.

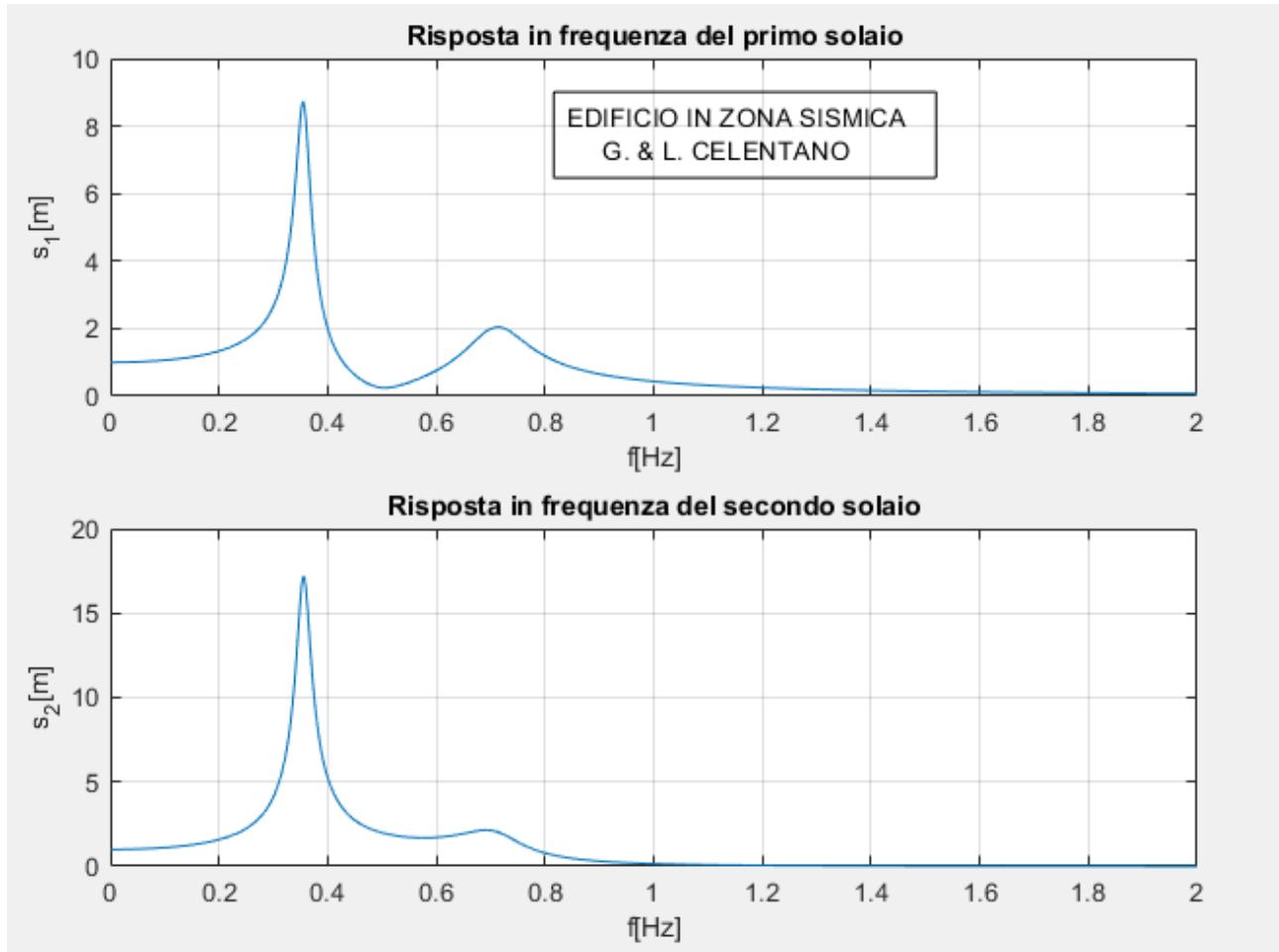


Figura 16 Risposte in frequenza dei solai

Su Matlab, durante l'esecuzione del programma c'è un'animazione che descrive i modi dell'edificio. **figura 17** si evince il modo a 0,356 Hz mentre nella **Figura 18** si evince il modo a 0,709 Hz.

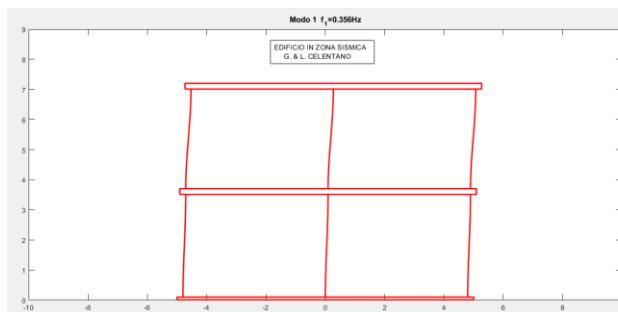


Figura 17 Modo a 0,356 Hz

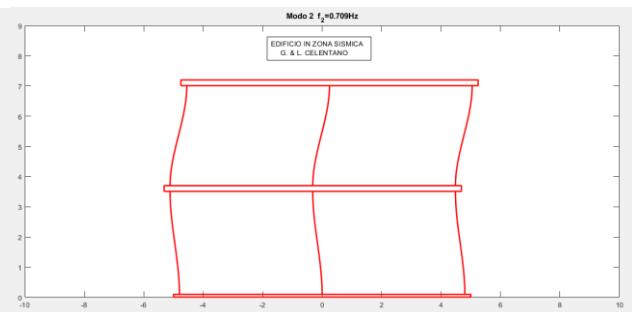
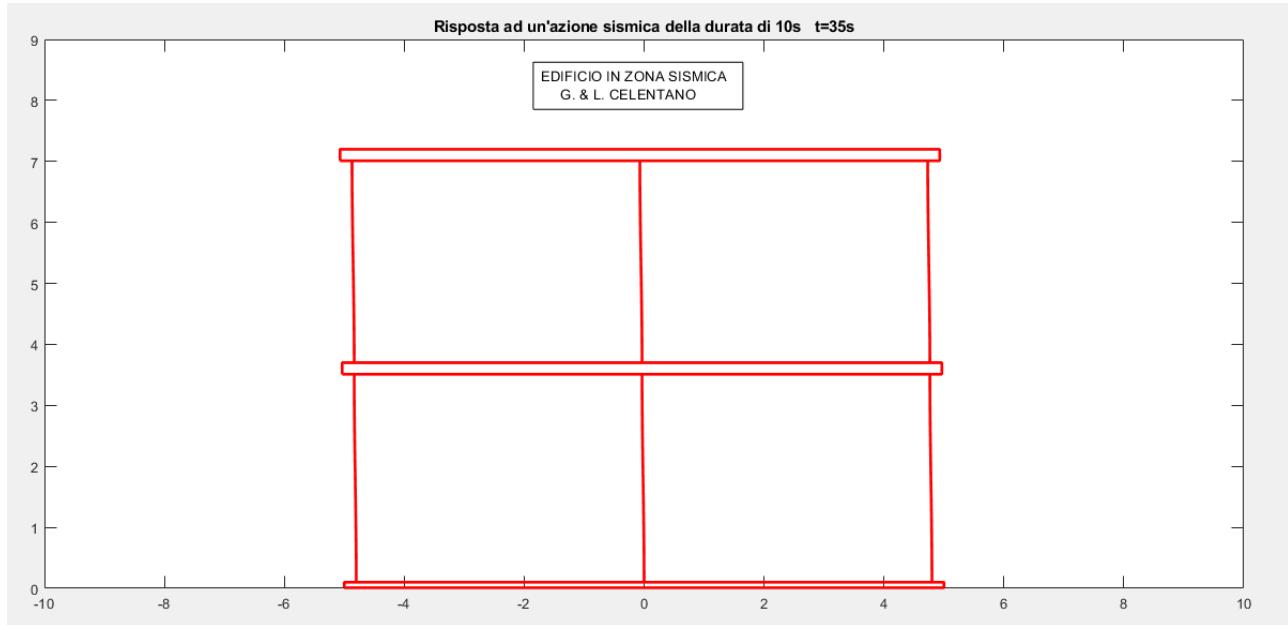


Figura 18 Modo a 0,709 Hz

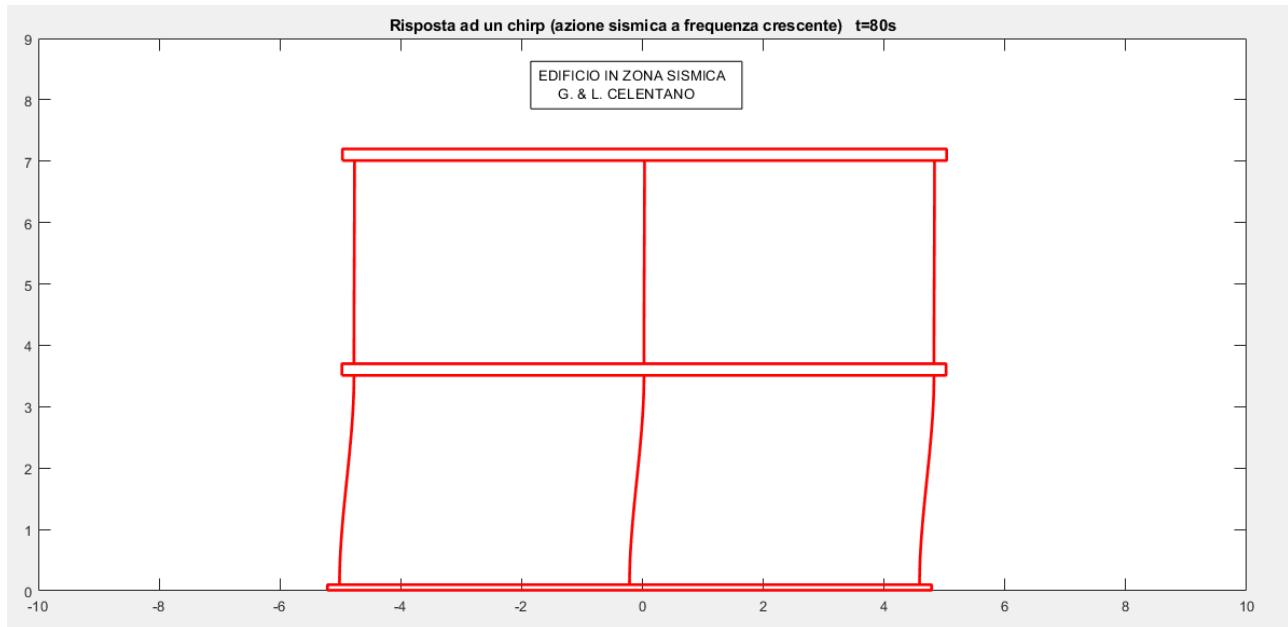


È possibile provare il programma nella cartella allegata: *Sisma → I_edificio_sisma.m*

In seguito è rappresentata un'animazione della **risposta del sistema ad un'azione sismica della durata di 10s** ed è mostrata la dinamica dell'edificio per tutto il tempo necessario a ristabilire l'equilibrio. Nel caso di struttura costruttiva in legno, l'edificio ristabilisce l'equilibrio dopo 35 secondi.



Nella **risposta del sistema ad un'azione sismica a frequenza crescente**, l'edificio non ristabilisce un esatto equilibrio dopo gli 80 secondi.



2.3.4 Analisi edificio_sisma sistema costruttivo in muratura ordinaria



Supponiamo di realizzare un edificio con sistema costruttivo in muratura ordinaria. (**figura 14**).

Figura 19 Esempio di muratura ordinaria

Parametri di simulazione della muratura ordinaria

Supponiamo i seguenti parametri sapendo che la costruzione del seguente edificio è in zona sismica classificata 1 e quindi con altezza massima di 7,5 metri

Parametro	Value
K_{e1}	1e6
K_{a1}	4e4
K_{e2}	.5e6
K_{a2}	2e4
M_1	1e5 Kg
M_2	.5e5 Kg
H_1	3.75 m
H_2	7.5 m

```

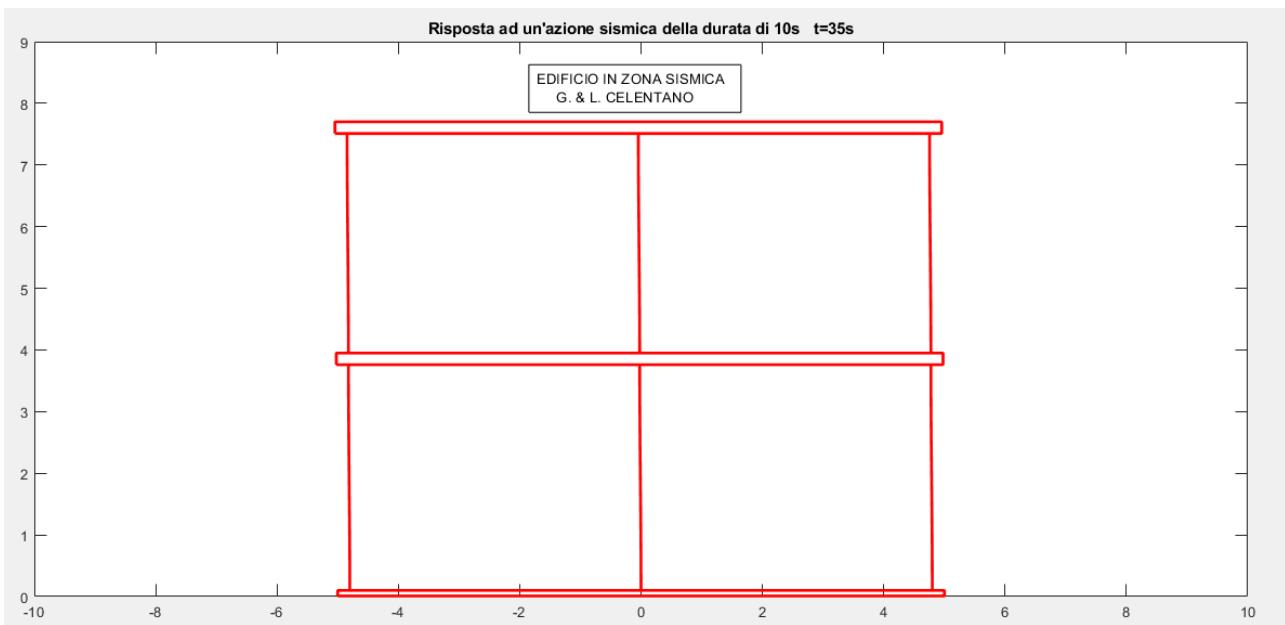
12 % Dati dell'edificio in muratura ordinaria
13 - M1=1e5; % massa totale del primo solaio
14 - M2=.5e5; % massa totale del secondo solaio
15 - Kal=4e4; % coefficiente di attrito del primo piano
16 - Ka2=2e4; % coefficiente di attrito del secondo piano
17 - Kel=1e6; % rigidezza del primo piano
18 - Ke2=.5e6; % rigidezza del secondo piano
19 - H1=3.75; % quota del primo solaio
20 - H2=7.5; % quota del secondo solaio

```

Figura 20 Condizioni iniziali in Matlab di un edificio in muratura ordinaria

2.3.5 Simulazione edificio_sisma sistema costruttivo in muratura ordinaria

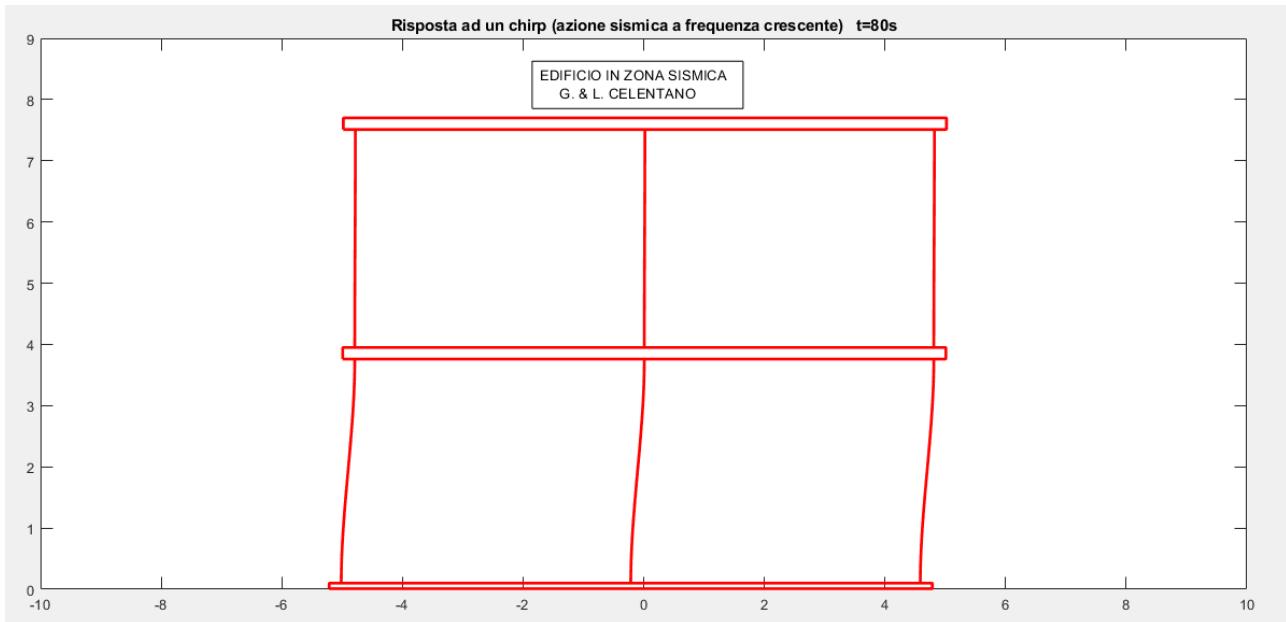
La risposta in frequenza del primo e del secondo solaio sottoposti all'azione del sisma sono i medesimi anche nel caso della muratura ordinaria. D'altra parte anche i risultati della risposta ad un'azione sismica della durata di 10 secondi è risultata simile alla risposta ad un'azione sismica a frequenza crescente.



Nella risposta ad' azione sismica a frequenza crescente, non si riesce ad avere il perfetto equilibrio dopo gli 80 secondi.



È possibile provare il programma nella cartella allegata: *Sisma* → *mo_edificio_sisma.m*



2.3.6 Analisi edificio_sisma sistema costruttivo in muratura armata

Supponiamo di realizzare un edificio con sistema costruttivo in muratura armata (**figura 23**). Quest'ultimo presenta, oltre ad una notevole duttilità, anche capacità di assorbire sforzi di trazione. La muratura armata è composta da blocchi di diverse dimensioni e forature, in cui sono inserite armature metalliche verticali e orizzontali annegate nella malta, così da ottenere una maggior resistenza rispetto alle murature tradizionali.



Figura 23 Esempio di muratura armata

Parametri di simulazione della muratura armata

Supponiamo i seguenti parametri sapendo che la costruzione del seguente edificio è in zona sismica classificata 1 e quindi con altezza massima di 13 metri.

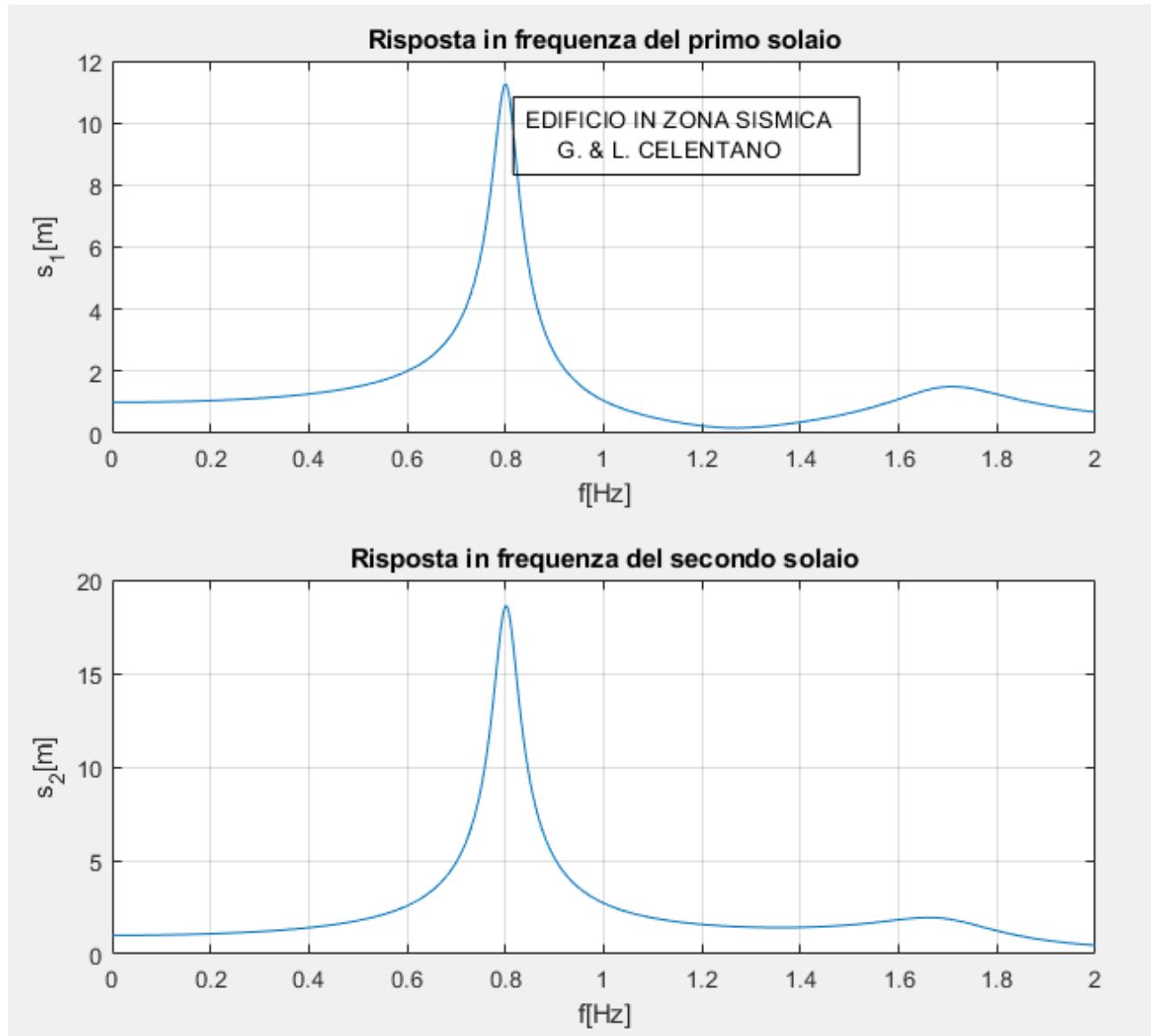
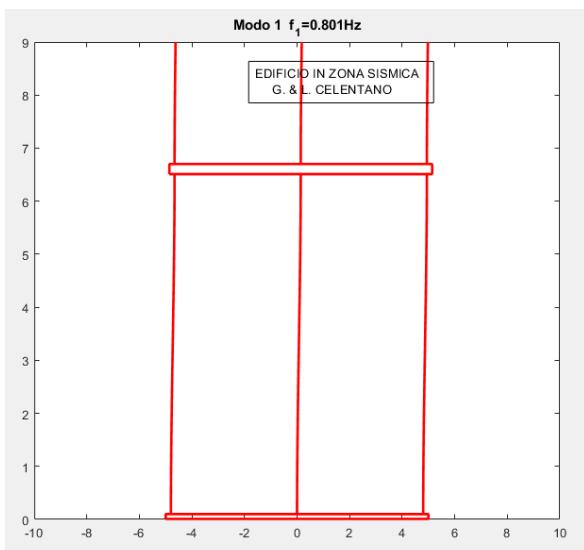
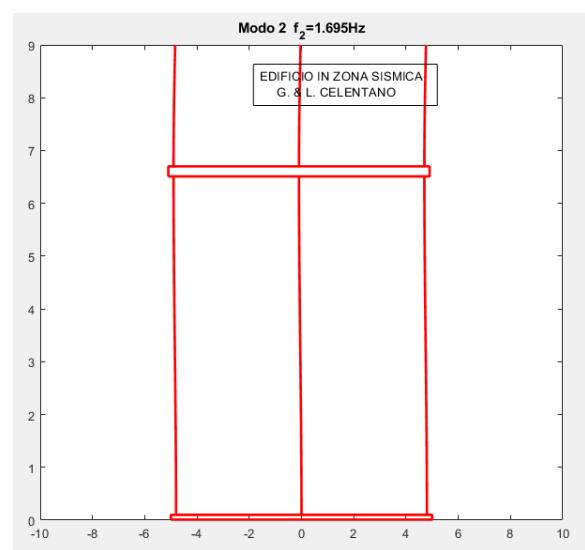
Parametro	Value
K_{e1}	6e6
K_{a1}	8e4
K_{e2}	4e6
K_{a2}	6e4
M_1	1.315e5 Kg
M_2	.63e5 Kg
H_1	6.5 m
H_2	13 m

```

12 % Dati dell'edificio in muratura armata
13 - M1=1.315e5; % massa totale del primo solaio
14 - M2=.63e5; % massa totale del secondo solaio
15 - K1=8e4; % coefficiente di attrito del primo piano
16 - K2=6e4; % coefficiente di attrito del secondo piano
17 - Ke1=6e6; % rigidezza del primo piano
18 - Ke2=4e6; % rigidezza del secondo piano
19 - H1=6.5; % quota del primo solaio
20 - H2=13; % quota del secondo solaio

```

Figura 24 Condizioni iniziali in Matlab di un edificio in muratura armata

**Figura 25** Risposte in frequenza dei solai**Figura 26** Modo a 0.801 Hz **Figura 27** Modo a 1.695 Hz

Nella **figura 25** si hanno le frequenze dei due solai, mentre nelle **figure 26 e 27** i due modi, uno di frequenza di 0.801 Hz e l'altro di 1.695 Hz.

La risposta ad un'azione sismica della durata di 10 secondi l'edificio ristabilisce l'equilibrio dopo 35 secondi (**figura 28**).

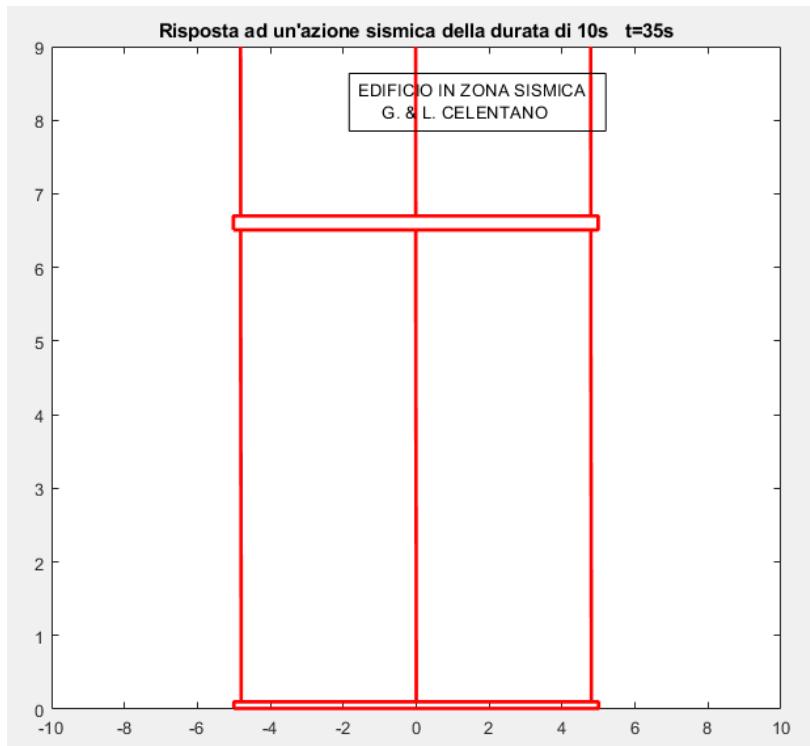


Figura 28 Risposta ad un'azione sismica della durata di 10 secondi del sistema costruttivo in muratura armata.

La risposta ad un'azione sismica a frequenza crescente l'edificio ristabilisce l'equilibrio dopo gli 80 secondi (**figura 29**).

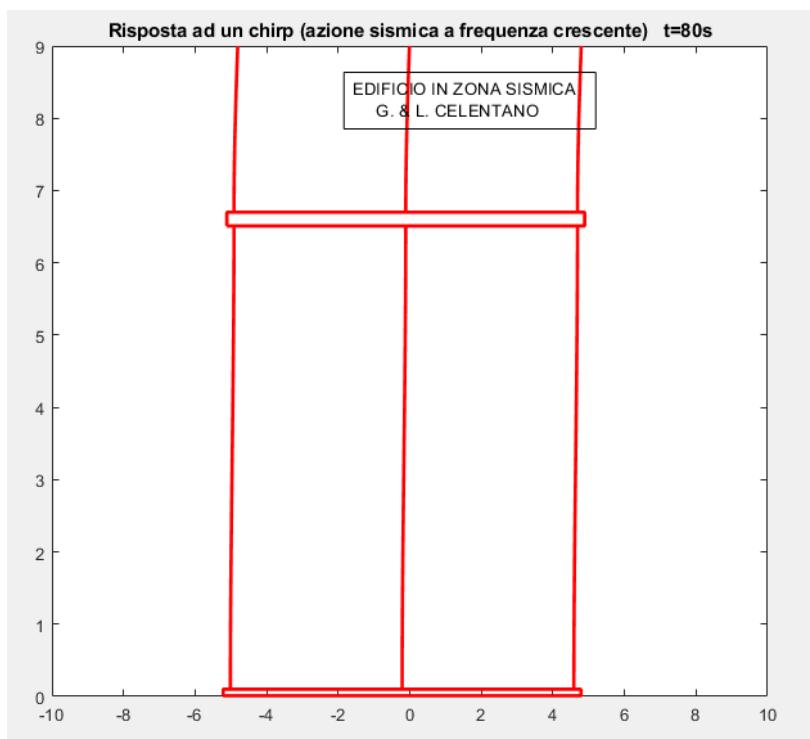


Figura 29 Risposta ad un'azione sismica a frequenza crescente del sistema costruttivo in muratura armata.



È possibile provare il programma nella cartella allegata: *Sisma* → **ma_edificio_sisma.m**

3 Robot planare

3.1 Introduzione ai robot

La robotica ha un ruolo fondamentale nell'automazione dei processi industriali. I robot possono sostituire l'uomo in molti compiti pericolosi, oppure dove l'uomo non è capace di garantire la precisione necessaria. In questo contesto, un particolare tipo di robot è quello planare, capace di muovere con precisione il suo braccio articolato all'interno di un piano. Il robot che andremo ad analizzare è possibile adottarlo in caso di incisione su marmo, acciaio o su legno. Un esempio grafico nella **Figura 30**.

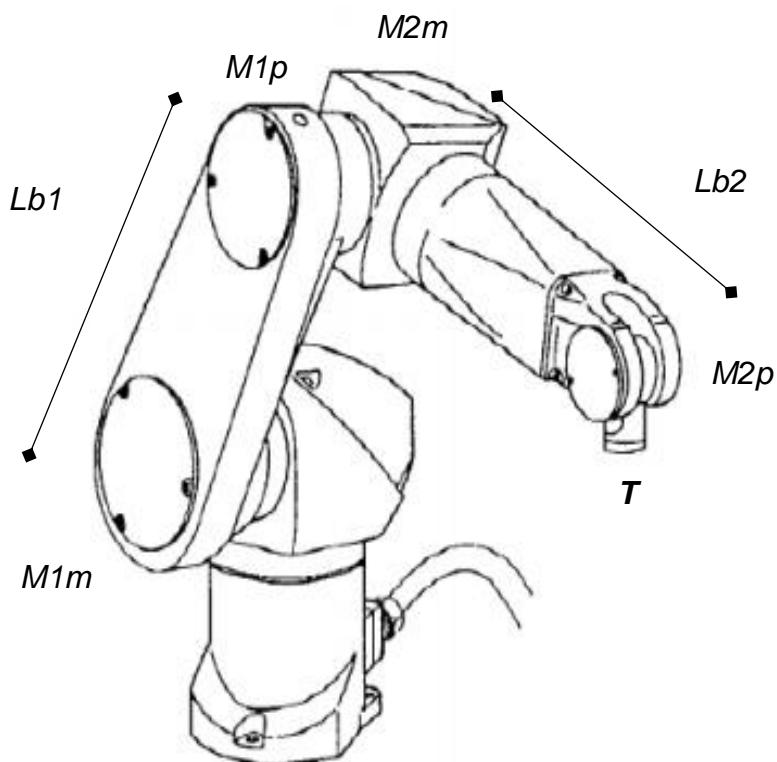


Figura 30 Schema robot planare

3.2 Individuazione dei parametri

Parametro	Significato
N	Numero braccia
Lb_1	Lunghezza braccio 1
Lb_2	Lunghezza braccio 2
M_1	Massa per unità di lunghezza del braccio 1
M_2	Massa per unità di lunghezza del braccio 2
M_{1m}	Massa aggiuntiva prima estremità braccio 1
M_{2m}	Massa aggiuntiva prima estremità braccio 2
M_{1p}	Massa aggiuntiva seconda estremità braccio 1
M_{2p}	Massa aggiuntiva seconda estremità braccio 2
I_{1m}	Momento d'inerzia massa aggiuntiva prima estremità braccio 1
I_{2m}	Momento d'inerzia massa aggiuntiva prima estremità braccio 2
I_{1p}	Momento d'inerzia massa aggiuntiva seconda estremità braccio 1
I_{2p}	Momento d'inerzia massa aggiuntiva seconda estremità braccio 2

Il robot è dotato di un organo terminante **T**, che può essere un laser, una pinza in grado di realizzare particolari traiettorie impostate mediante le coordinate cartesiane:

- **XT** rappresenta il vettore delle ascisse
 - **YT** quello delle ordinate;

Inoltre è necessario impostare anche le coordinate del punto di partenza **X0** e **Y0**.

Le coordinate vengono sottoposte ad una scala mediante un fattore fs .

Il vettore dei tempi **TT** viene ricavato di conseguenza a partire da un tempo di esecuzione fissato T_f .

Successivamente il programma, raffina la discretizzazione tra i punti successivi della traiettoria, in particolare mediante l'uso di un filtro impostato dal valore τf è possibile modificare tale discretizzazione. Infine i bracci del robot sono controllati mediante un controllore proporzionale derivativo **PD**.

3.3 Modello matematico

Lo studio del modello matematico si divide in cinematico e dinamico.

3.3.1 Modello cinematico

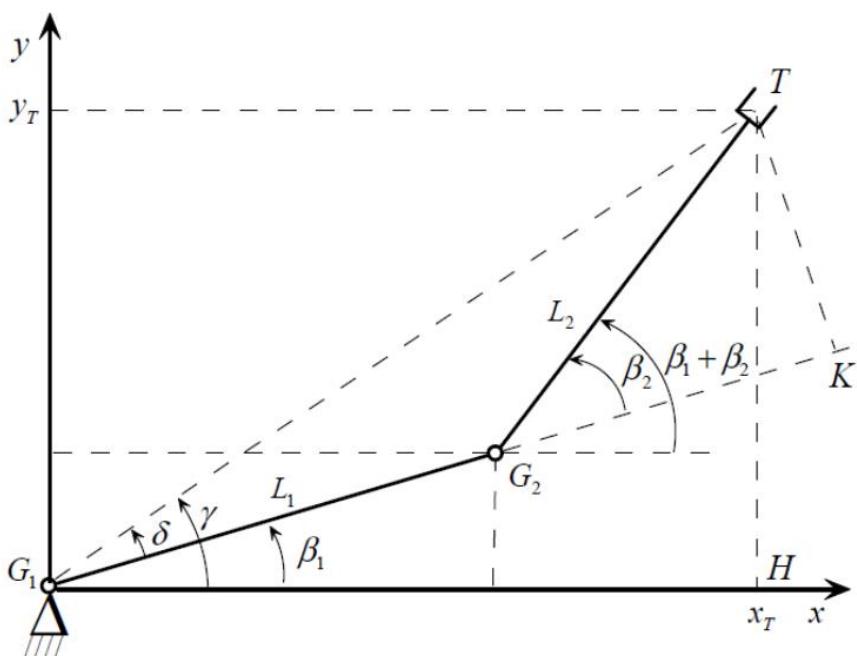


Figura 31 Schematizzazione di un robot planare.

Nella **Figura 31** è possibile notare la posizione x_T e y_T e la velocità \dot{x}_t e \dot{y}_t dell'organo terminale T de braccio, qualsiasi esso sia (laser, pinza, cucchiaia, punta).

Siano poi β_1 e β_2 e le velocità relative $\omega_1 = \beta_1$ e $\omega_2 = \beta_2$ dei motori posti nei giunti G_1 e G_2 . Si scrive dunque scrivere

$$\begin{aligned} x_T &= L_1 \cos \beta_1 + L_2 \cos(\beta_1 + \beta_2) \\ y_T &= L_1 \sin \beta_1 + L_2 \sin(\beta_1 + \beta_2) \end{aligned} \quad (14)$$

Si deriva la (14) rispetto al tempo:

$$\begin{aligned} \dot{x}_T &= -L_1 \sin \beta_1 \dot{\beta}_1 - L_2 \sin (\beta_1 + \beta_2) (\dot{\beta}_1 + \dot{\beta}_2) \\ \dot{y}_T &= L_1 \cos \beta_1 \dot{\beta}_1 + L_2 \cos (\beta_1 + \beta_2) (\dot{\beta}_1 + \dot{\beta}_2) \end{aligned} \quad (15)$$

Si scrive la 15 in forma compatta:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_T \\ \dot{y}_T \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -L_1 \sin \beta_1 - L_2 \sin(\beta_1 + \beta_2) & -L_2 \sin(\beta_1 + \beta_2) \\ L_1 \cos \beta_1 + L_2 \cos(\beta_1 + \beta_2) & L_2 \cos(\beta_1 + \beta_2) \end{bmatrix}}_{\text{Matrice Jacobiana } J} \begin{bmatrix} \dot{\beta}_1 \\ \dot{\beta}_2 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Matrice Jacobiana J

È possibile determinare l'equazione della cinematica che consenti di calcolare le posizioni angolari, le velocità angolari dei motori. In questo modo sarebbe possibile programmare un particolare percorso da seguire ed ottenere in risposta i valori da assegnare ai motori per ottenerlo. Ad esempio si potrebbero programmare dei contorni di un disegno da rappresentare o intagliare su una superficie, come nel nostro caso. È necessario dunque calcolare le equazioni della cinematica inversa. Si usa dunque il teorema di Carnot al triangolo G_1G_2T della **Figura 31**

$$(G_1T)^2 = x_T^2 + y_T^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos \beta_2 \quad (17)$$

Per il triangolo G_1HT :

$$y_T = x_T \tan \gamma \Rightarrow \gamma = \arctg \left(\frac{y_T}{x_T} \right) \quad (18)$$

Per il triangolo G_1KT :

$$TK = G_1K \tan \delta \Rightarrow \delta = \arctg \left(\frac{TK}{G_1K} \right) = \arctg \left(\frac{L_2 \sin \beta_2}{L_1 + L_2 \cos \beta_2} \right) \quad (18)$$

Allora:

$$\begin{aligned} \beta_2 &= \pm \arccos \frac{x_T^2 + y_T^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \\ \beta_1 &= \pm \arctg \frac{y_T}{x_T} - \arctg \frac{L_2 \sin \beta_2}{L_1 + L_2 \cos \beta_2} \end{aligned} \quad (19)$$

3.3.2 Modello dinamico

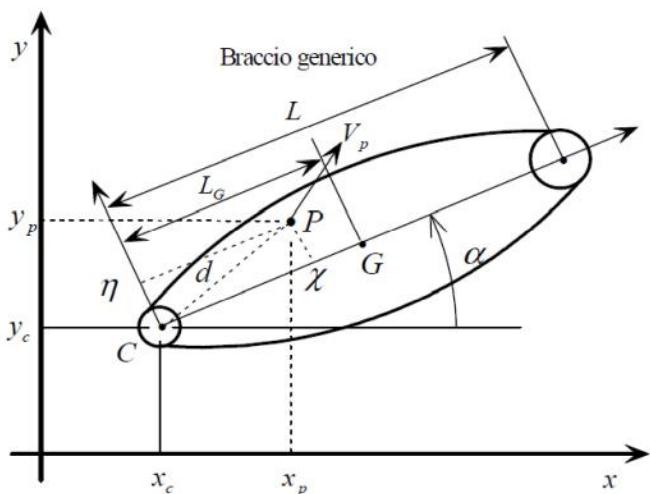


Figura 32 Velocità del punto P del braccio.

Il modello dinamico si ricava mediante il metodo di Eulero – Lagrange e quindi bisogna ricavare l'energia cinetica del generico braccio.

Dalla **Figura 32** è possibile ricavare le coordinate del generico punto P sono:

$$\begin{aligned} x_p &= x_c + \chi \cos(\alpha) - \eta \sin(\alpha) \\ y_p &= y_c + \chi \sin(\alpha) - \eta \cos(\alpha) \end{aligned} \quad (20)$$

Da cui si ricava che il quadrato della velocità del punto P vale:

$$\begin{aligned} V_p^2 &= \dot{x}_p^2 + \dot{y}_p^2 \\ V_p^2 &= \dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2 + \dot{\alpha}^2(\chi^2 + \eta^2) - 2\dot{x}_c\dot{\alpha}(\chi \sin(\alpha) + \eta \cos(\alpha)) + 2\dot{y}_c\dot{\alpha}(\chi \cos(\alpha) - \eta \sin(\alpha)) \\ V_p^2 &= \dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2 + \dot{\alpha}^2 d^2 - 2\dot{x}_c\dot{\alpha}(\chi \sin(\alpha) + \eta \cos(\alpha)) + 2\dot{y}_c\dot{\alpha}(\chi \cos(\alpha) - \eta \sin(\alpha)) \end{aligned} \quad (21)$$

Sapendo che

$$\begin{aligned} \int \chi dm &= L_G M \\ \int \eta dm &= 0 \end{aligned} \quad (22)$$

Nella (22) individuiamo la massa M del braccio e L_G la distanza del baricentro G da C. Dunque l'energia cinetica del braccio sarà

$$T = \frac{1}{2} \int_B V_p^2 dm = \frac{1}{2} M(\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2) + \frac{1}{2} I \dot{\alpha}^2 + L_G M \dot{\alpha} (\dot{y}_c^2 \cos(\alpha) + \dot{x}_c^2 \sin(\alpha)) \quad (23)$$

Dove I è il momento d'inerzia del braccio rispetto a C.

Nel primo braccio si scrive:

$$\dot{x}_c = 0, \quad \dot{y}_c = 0, \quad \alpha = \beta_1 \quad (24)$$

Mentre per il secondo braccio:

$$x_c = L_1 \cos(\beta_1), \quad \dot{y}_c = L_1 \sin(\beta_1), \quad \alpha = \beta_1 + \beta_2 \quad (25)$$

Dunque l'energia cinetica totale sarà:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{1}{2} (I_1 + M_2 L_1^2) \dot{\beta}_1^2 + I_2 (\dot{\beta}_1 + \dot{\beta}_2)^2 + \dot{\beta}_1 (\dot{\beta}_1 + \dot{\beta}_2) M_2 L_1 L_{G2} \cos \beta_2 \quad (26)$$

Tale relazione può essere scritta in forma compatta come:

$$T = \frac{1}{2} \dot{\beta}^T B \dot{\beta} \quad (26)$$

Dove B rappresenta la matrice d'inerzia del robot.

L'energia potenziale gravitazionale risulta:

$$U = M_1 g L_{G1} \sin \beta_1 + M_2 g (L_1 \sin \beta_1 + L_{G2} \sin(\beta_1 + \beta_2)) \quad (27)$$

Il modello del robot si otterrà sviluppando le equazioni di Eulero – Lagrange:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\beta}} - \frac{\partial L}{\partial \beta} = u \quad (28)$$

Dove L = T – U ovvero la lagrangiana del sistema, β il vettore delle coordinate lagrangiane del sistema mentre u il vettore delle forze generalizzate. Dopo lo sviluppo delle equazioni precedenti

il modello del robot risulterà:

$$B\ddot{\beta} = c + u \quad (29)$$

Ponendo

$$x_1 = \beta \text{ e } x_2 = \dot{\beta} \quad (30)$$

Le equazioni di stato del robot risulteranno le seguenti:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = \beta^{-1}(c + u) \quad (31)$$

3.3.2 Simulazione del robot su Matlab

Una volta ricavato il modello, è possibile simulare le traiettorie compiute dal robot mediante un algoritmo in ambiente Matlab. Il programma in esame (**s_robot_planare.m** degli Autori) permette di simulare il tracciamento (**Figura 35**) di diverse traiettorie e a scopo illustrativo, simulativo e di prova, si traccia il golfo stilizzato di Napoli (**Figura 33, 34**) e dunque nella realtà utilizzato per un'incisione laser su marmo.



Figura 33 Golfo di Napoli

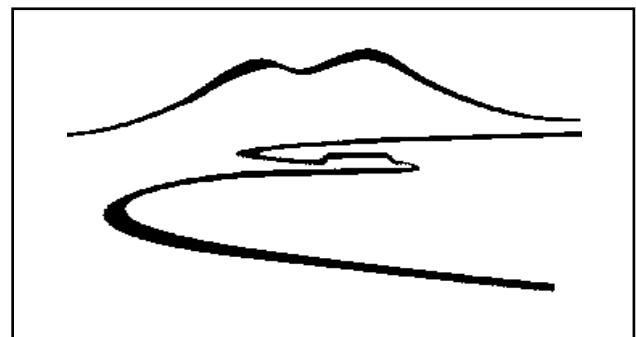


Figura 34 Golfo di Napoli stilizzato

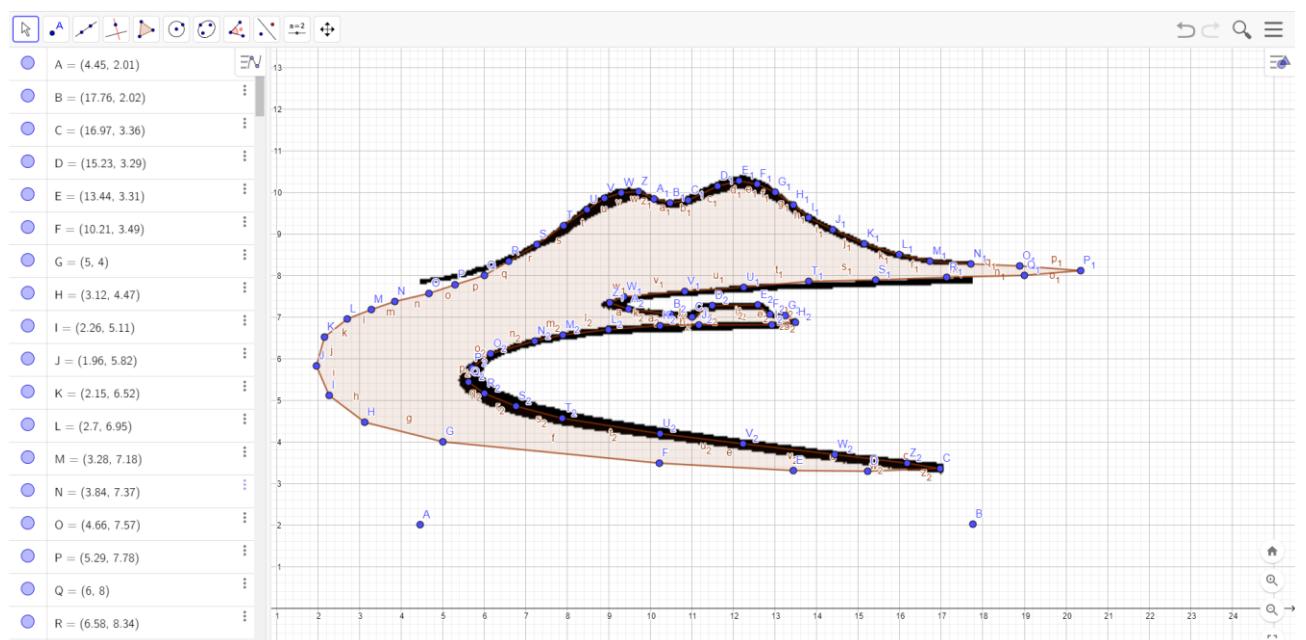


Figura 35 Golfo di Napoli stilizzato e tracciamento delle coordinate su Geogebra

Le coordinate saranno:

XT=[16.97 15.23 13.44 10.21 5 3.12 2.26 1.96 2.15 2.7 3.28 3.84 4.66 5.29 6 6.58 7.26 7.91 8.47
8.89 9.29 9.71 10.08 10.47 10.9 11.61 12.13 12.57 13 13.44 13.81 14.39 15.15 15.98 16.73 17.71
18.89 20.35 19 17.13 15.42 13.81 12.24 10.82 9.36 9.02 9.47 10.49 11 11.49 12.58 12.87 13.24
13.48 12.92 11.16 10.23 8.99 7.89 7.21 6.15 5.7 5.62 6 6.76 7.87 10.23 12.23 14.44 16.18 16.97]**]**

YT=[3.36 3.29 3.31 3.49 4 4.47 5.11 5.82 6.52 6.95 7.18 7.37 7.57 7.78 8 8.34 8.74 9.19 9.58 9.86
9.98 10.02 9.84 9.74 9.81 10.15 10.27 10.19 10 9.69 9.39 9.1 8.76 8.5 8.34 8.28 8.23 8.11 8 7.95 7.89 7.86 7.71 7.61 7.49 7.34 7.19 7.07
7.89 7.86 7.71 7.61 7.49 7.34 7.19 7.07 7 7.28 7.29 7.07 7.03 6.87 6.81 6.81 6.79 6.7 6.57 6.42
6.11 5.78 5.44 5.16 4.86 4.57 4.2 3.95 3.7 3.49 3.36]**]**

e li carico su Matlab

```

32 % Logo VESUVIO
33 - ve=1;if ve==1|
34 - fs=100; % fattore di scala
35 - x0=30;y0=0; % coordinate del punto di partenza
36
37 - XT=[16.97 15.23 13.44 10.21 5 3.12 2.26 1.96 2.15 2.7 3.28 3.84 4.66 5.29 6 6.58 ...
38 - 7.26 7.91 8.47 8.89 9.29 9.71 10.08 10.47 10.9 11.61 12.13 12.57 13 13.44 13.81 14.39 15.15 ...
39 - 15.98 16.73 17.71 18.89 20.35 19 17.13 15.42 13.81 12.24 10.82 9.36 9.02 9.47 10.49 11 11.49 ...
40 - 12.58 12.87 13.24 13.48 12.92 11.16 10.23 8.99 7.89 7.21 6.15 5.7 5.62 6 6.76 7.87 10.23 12.23 ...
41 - 14.44 16.18 16.97]/fs;
42
43 - YT=[3.36 3.29 3.31 3.49 4 4.47 5.11 5.82 6.52 6.95 7.18 7.37 7.57 7.78 8 8.34 8.74 9.19 9.58 9.86 9.98 10.02 ...
44 - 9.84 9.74 9.81 10.15 10.27 10.19 10 9.69 9.39 9.1 8.76 8.5 8.34 8.28 8.23 8.11 8 7.95 7.89 7.86 7.71 7.61 7.49 7.34 7.19 7.07 ...
45 - 7 7.28 7.29 7.07 7.03 6.87 6.81 6.79 6.7 6.57 6.42 6.11 5.78 5.44 5.16 4.86 4.57 4.2 3.95 3.7 3.49 3.36]/fs;
46
47 - XT=XT'-XT(1)+x0/fs;YT=YT'-YT(1)+y0/fs; % traslazione
48
49 % Calcolo delle lunghezze dei lati del contorno
50 - dl=[];for i=2:length(XT);dl=[dl sqrt((XT(i)-XT(i-1))^2+(YT(i)-YT(i-1))^2)];end
51 % Calcolo di TT nell'ipotesi di velocità costante pari a sum(dl)/TF
52 - TF=60;
53 - TT=0;for i=1:length(dl);TT=[TT TT(end)+dl(i)];end;TT=TT'*TF/TT(end);
54 - end

```



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Robot planare → **gns_robot_planare.m**

3.3.3 Test con $\tau f = 0.1$

Parametro	Value
N	2
$Lb1$	0.3 m
$Lb2$	0.4 m
$M1$	7 Kg/m
$M2$	5 Kg/m
$M1m$	0
$M2m$	0
$M1p$	0.5 Kg/m
$M2p$	0.5 Kg/m
$I1m$	0
$I2m$	0
$I1p$	0
$I2p$	0
Tf	60 s
fs	100
τf	0.1

Di seguito si riportano i diagrammi relativi alla traiettoria desiderata di lavoro, all'andamento degli angoli dei due bracci del robot, alle coppie applicate ai giunti dei due bracci e la traiettoria filtrata.

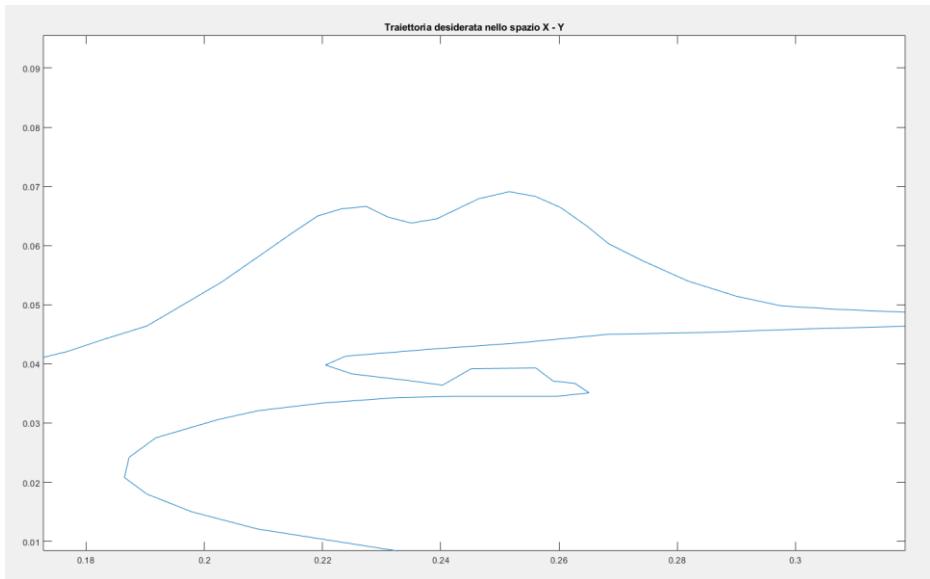
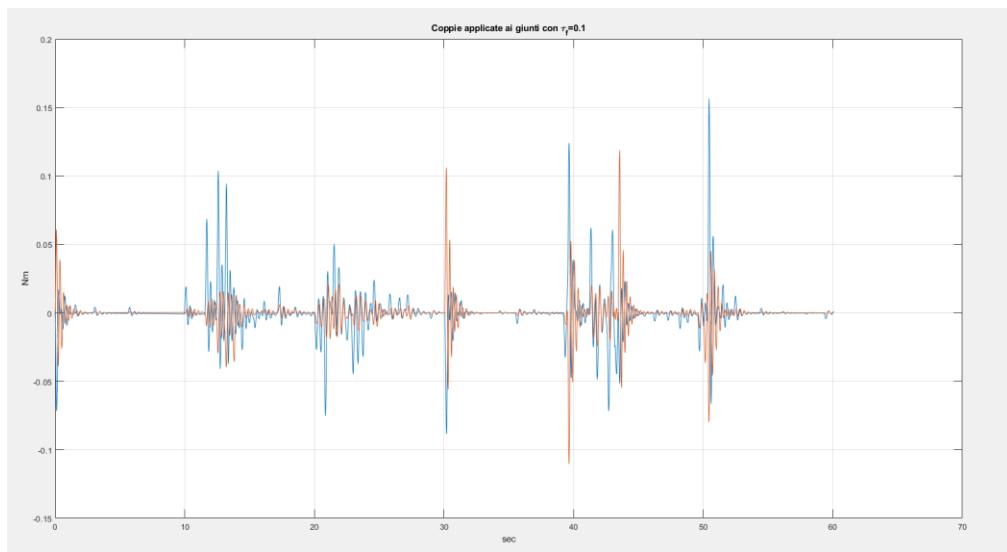
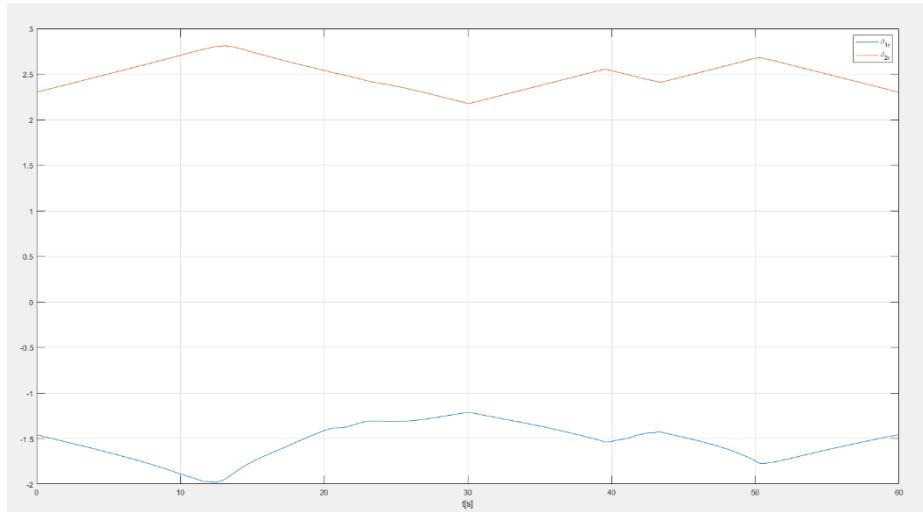


Figura 37 Traiettoria desiderata nello spazio β_{1r} e β_{2r}



La coppia massima applicata al giunto del braccio 1 è 0.15 Nm mentre la coppia massima al giunto del braccio 2 è circa 0.12 Nm.

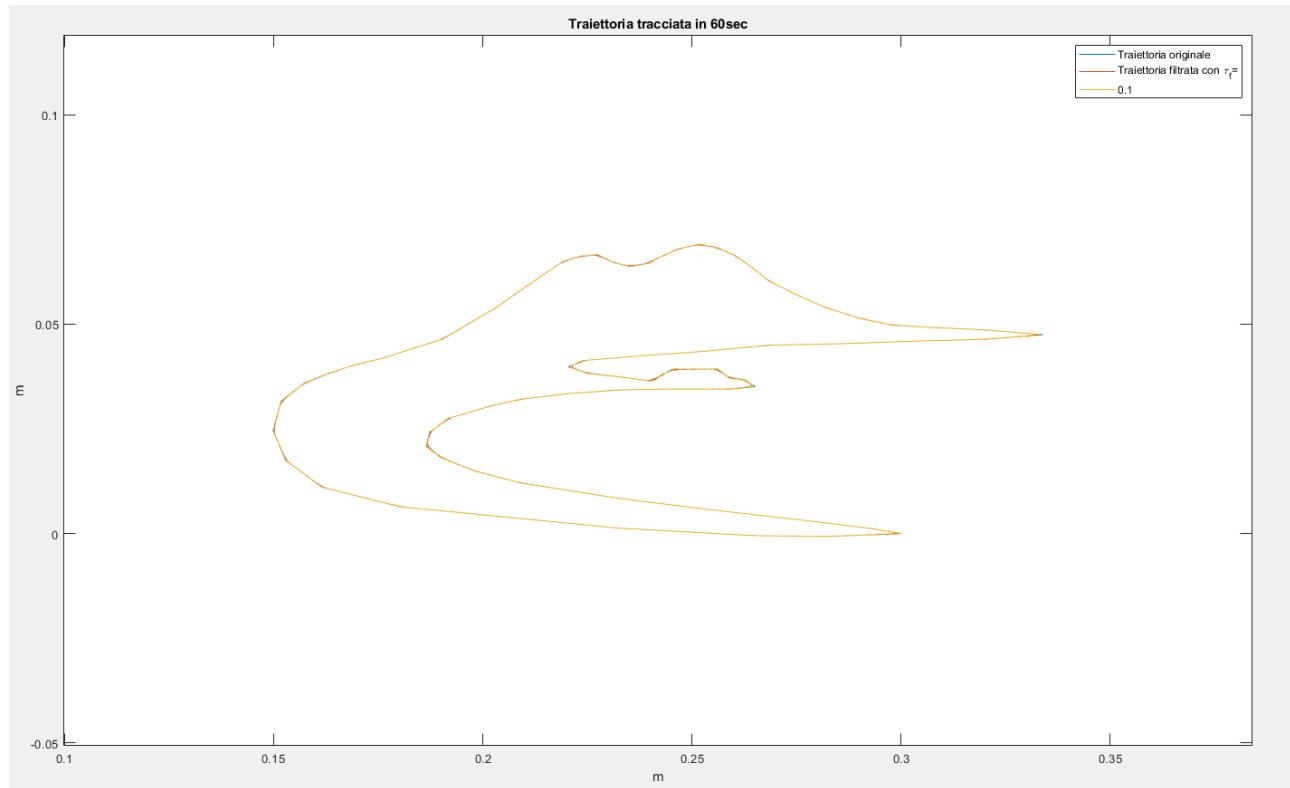


Figura 38 Traiettoria tracciata in 60s con filtraggio $\tau_f = 0.1$

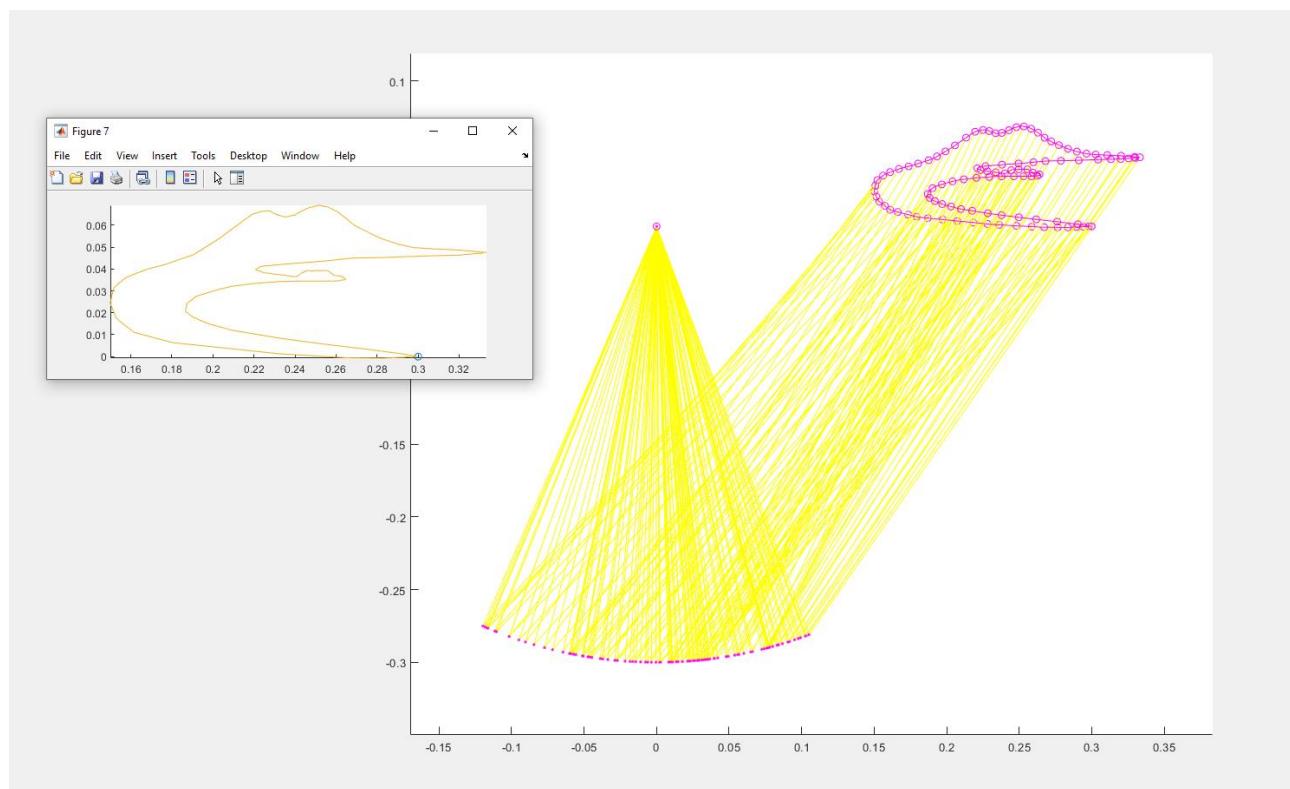


Figura 39 Traiettoria effettiva

Analizzando i diagrammi, si evince che il robot, con un filtraggio pari a $\tau_f = 0.1$, riesce ad eseguire l'operazione di tracciamento richiesta commettendo errori poco apprezzabili.

3.3.4 Test con $\tau_f = 0.5$

Parametro	Value
N	2
$Lb1$	0.3 m
$Lb2$	0.4 m
$M1$	7 Kg/m
$M2$	5 Kg/m
$M1m$	0
$M2m$	0
$M1p$	0.5 Kg/m
$M2p$	0.5 Kg/m
$I1m$	0
$I2m$	0
$I1p$	0
$I2p$	0
T_f	60 s
f_s	100
τ_f	0.5

Di seguito si riportano i diagrammi relativi alla traiettoria desiderata di lavoro, all'andamento degli angoli dei due bracci del robot, alle coppie applicate ai giunti dei due bracci e la traiettoria filtrata.

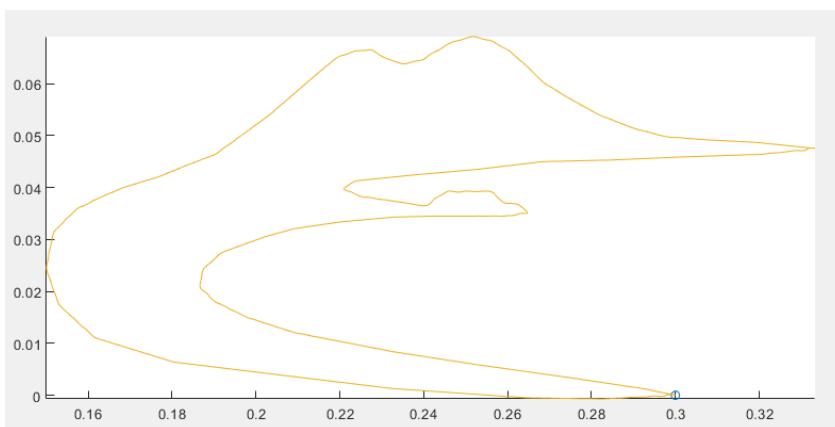
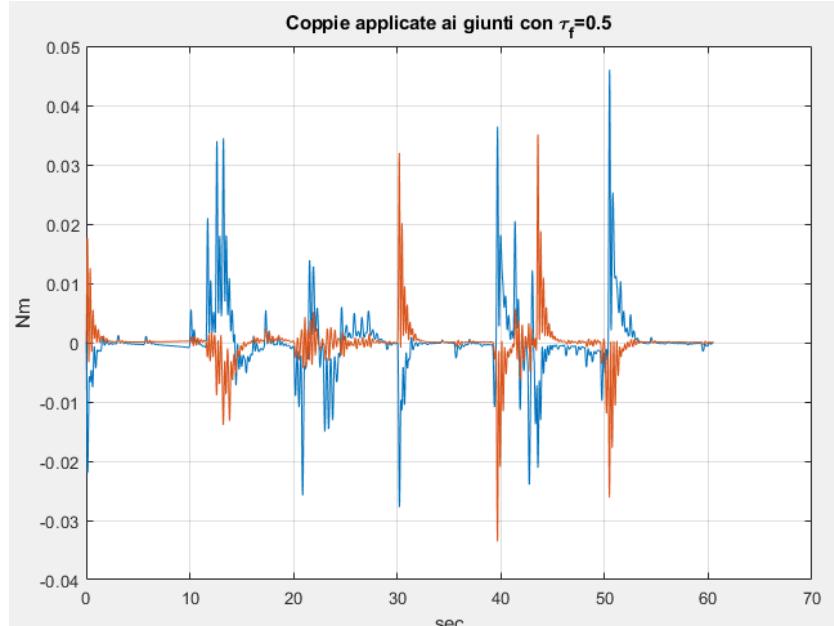


Figura 40 Traiettoria
desiderata nello spazio X e Y

Figura 41 Coppie applicati ai
giunti con $\tau_f = 0.5$



Il tracciato realizzato risulta meno spigoloso e questo fa sì che le coppie applicate ai giunti siano più modeste rispetto al test 1, infatti in questo caso la coppia massima applicata al giunto del braccio 1 è di circa 0.045 Nm , mentre quella applicata al giunto del braccio 2 è di circa 0.035 Nm .
(Figura 41)

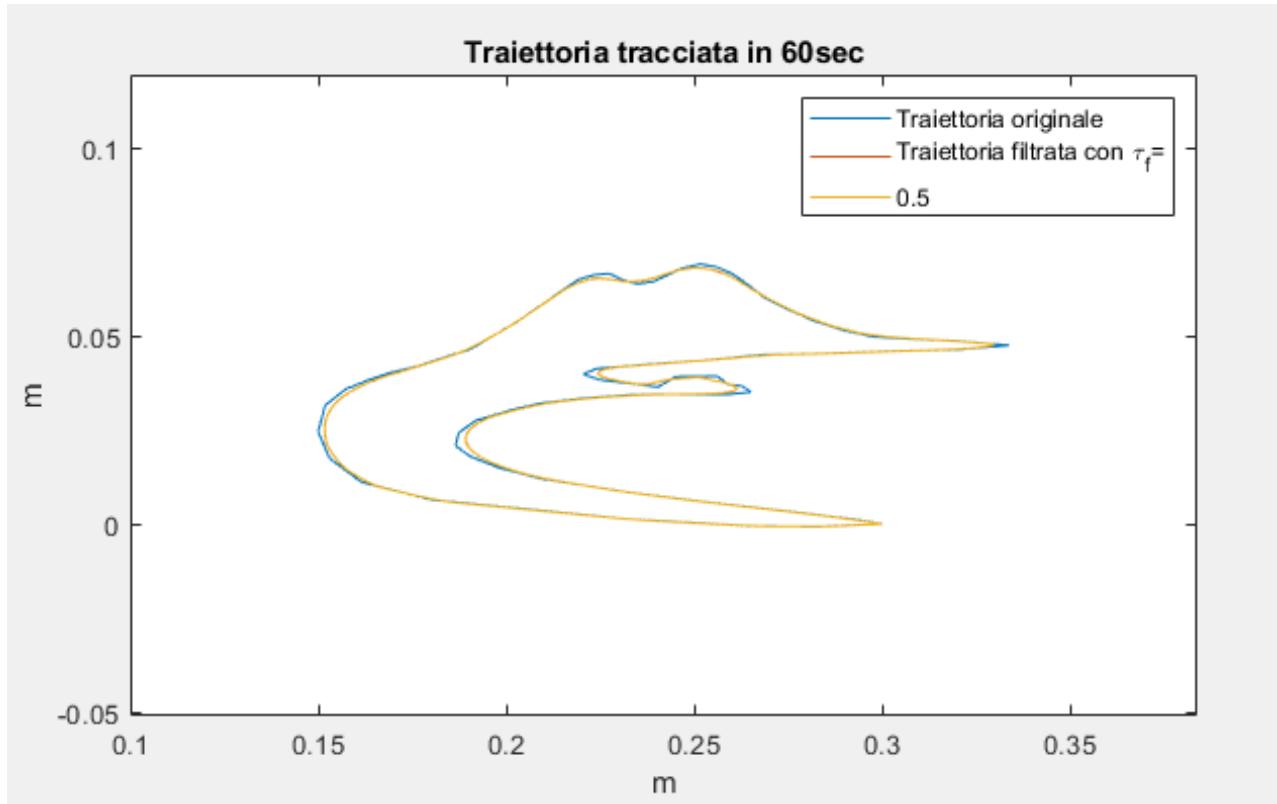
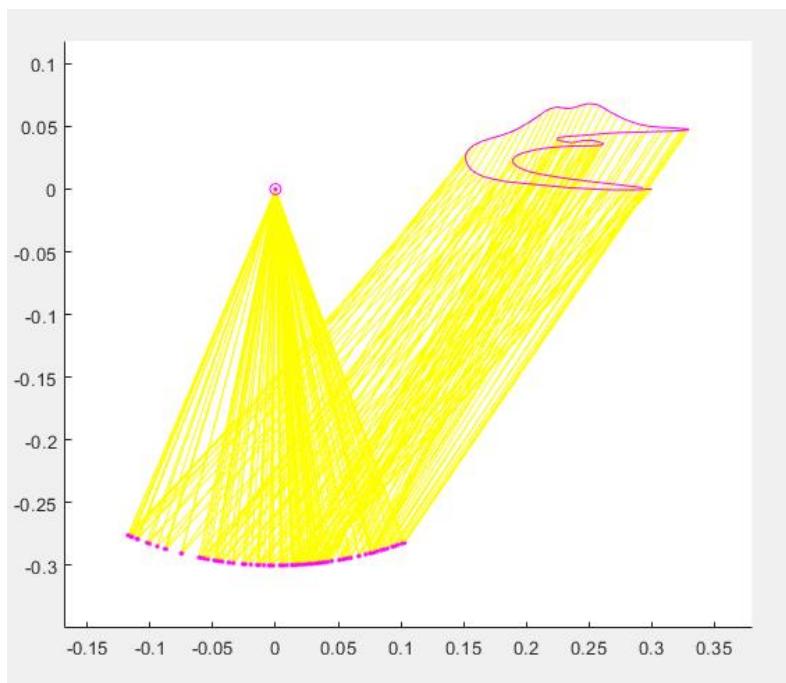


Figura 42 Traiettoria tracciata in 60s con filtraggio $\tau_f = 0.5$

Analizzando i diagrammi si può osservare come l'aumento del filtraggio a $\tau_f = 0.5$ porta ad una minore discretizzazione e, di conseguenza, visto che il robot lavora su un numero minore di punti, una realizzazione più smussata del tracciato.

Figura 43 Traiettoria effettiva



3.3.5 Test con $\tau_f = 0.05$

Parametro	Value
N	2
$Lb1$	0.3 m
$Lb2$	0.4 m
$M1$	7 Kg/m
$M2$	5 Kg/m
$M1m$	0
$M2m$	0
$M1p$	0.5 Kg/m
$M2p$	0.5 Kg/m
$I1m$	0
$I2m$	0
$I1p$	0
$I2p$	0
Tf	60 s
f_s	100
τ_f	0.05

Di seguito si riportano i diagrammi relativi alla traiettoria desiderata di lavoro, all'andamento degli angoli dei due bracci del robot, alle coppie applicate ai giunti dei due bracci e la traiettoria filtrata.

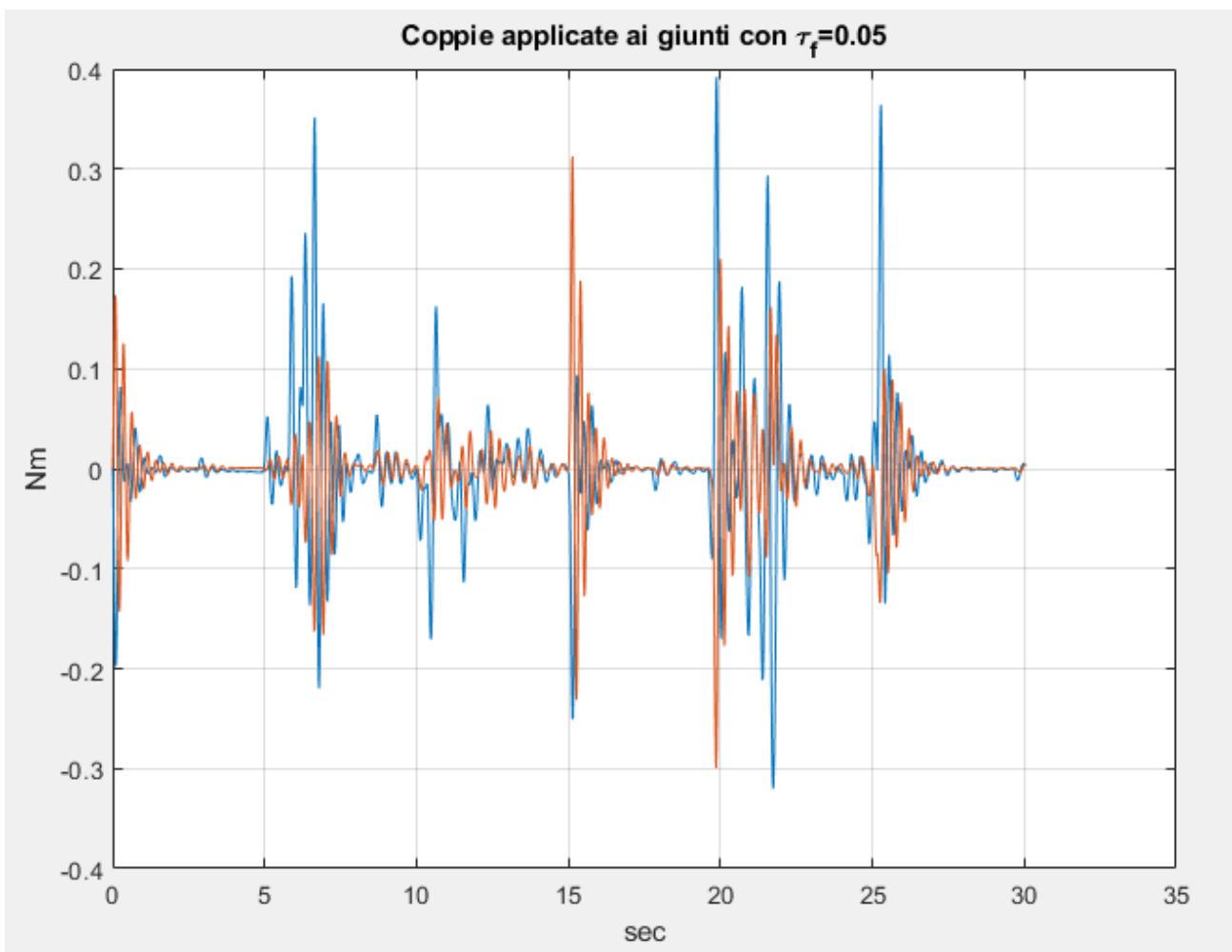


Figura 44 Coppie applicati ai giunti con $\tau_f = 0.05$

Il tracciato realizzato risulta leggermente spigoloso in alcune curve e questo fa sì che le coppie applicate ai giunti siano più alte rispetto al test con $\tau_f = 0.5$, infatti in questo caso la coppia massima applicata al giunto del braccio 1 è di circa 0.4 Nm , mentre quella applicata al giunto del braccio 2 è di circa 0.33 Nm . (**Figura 44**)

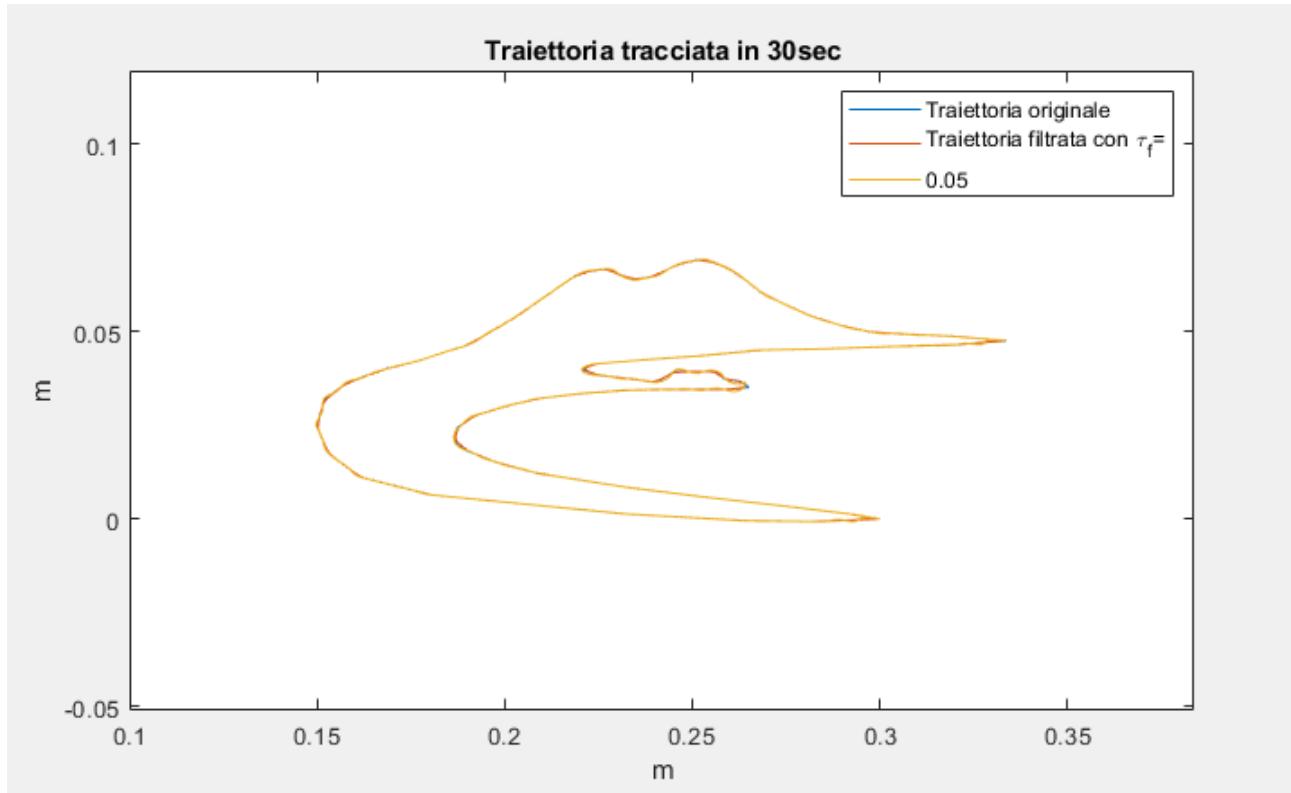


Figura 45 Traiettoria tracciata in 60s con filtraggio $\tau_f = 0.05$

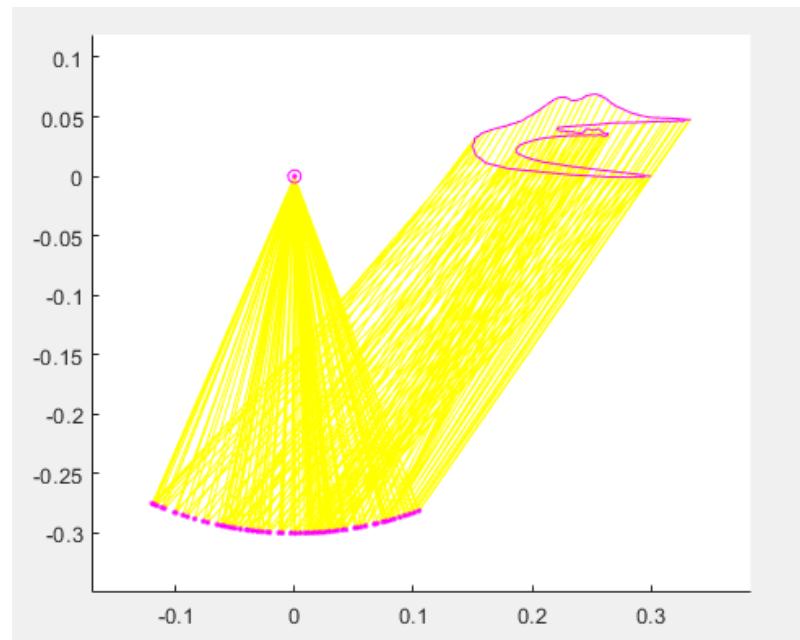


Figura 46 Traiettoria effettiva

Analizzando la traiettoria tracciata in 30 secondi (**Figura 35**) presenta curve non smussate perfettamente come si aveva nel test con $\tau_f = 0.5$. In definitiva la traiettoria che si avvicina di più ad un tracciamento perfetto è nel caso della **Figura 42** con traiettoria tracciata in 60 secondi.

4 Auto in movimento con controllore PID

4.1 Introduzione

Immaginiamo di avere un'auto su strada e di voler far variare la velocità o la posizione in un modo particolare secondo diversi fattori, nel caso in esame può essere la pendenza, serve qualcosa che corregga dunque eventuali ed inevitabili errori.

In questi ultimi anni si sta sviluppando sempre di più la realizzazione di auto con pilota automatico. Tutte le nuove vetture Tesla presentano di serie un hardware avanzato in grado di offrire sin da ora le funzioni Autopilot e di consentire in futuro una guida completamente autonoma.

4.1.1 Un breve accenno al controllore PID

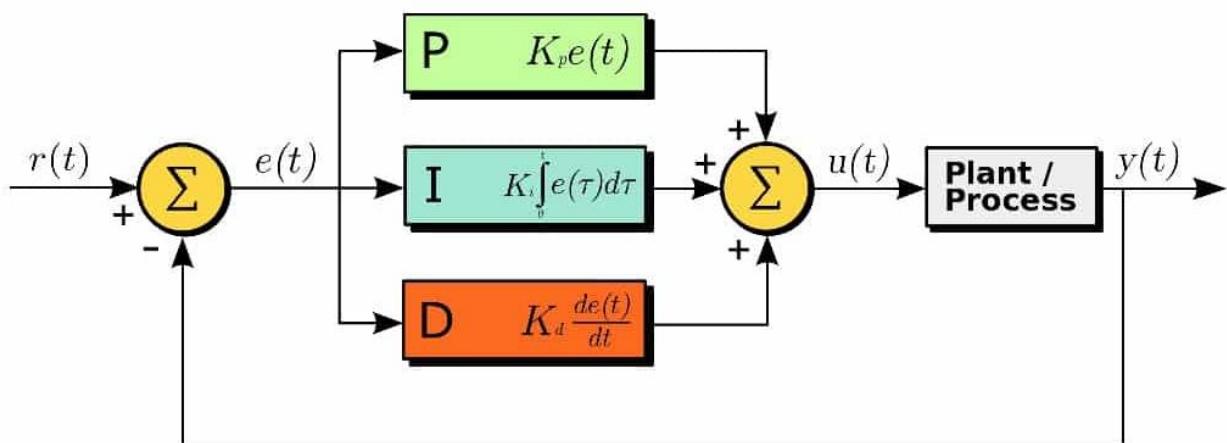


Figura 47 Schema di funzionamento di un controllore PID

Il controllore PID rappresentato in **Figura 47** accetta in ingresso un errore $e(t)$ che potrebbe essere la differenza tra il valore attuale e quello desiderato, ad esempio di posizione della macchina e lo elabora eseguendo tre operazioni: una Proporzionale, una Integrale e una Derivativa. Il fattore Proporzionale è dato dal prodotto tra l'errore in ingresso e una costante K_p . Quello Integrale è dato dal prodotto dell'integrale dell'errore nel tempo per una costante K_i . Quello Derivativo è dato dal prodotto tra la derivata dell'errore rispetto al tempo e un costante K_d . La somma di questi tre risultati è il segnale di controllo utilizzato per pilotare gli attuatori, ad esempio il motore dell'auto. Infine viene misurata di nuovo la grandezza che si sta cercando di controllare attraverso dei sensori, e questa misura viene riportata di nuovo in ingresso e sottratta per avere il nuovo errore (retroazione negativa).

4.2 Individuazione parametri e modello matematico

Lo studio del modello matematico fa riferimento ai seguenti parametri

Parametro	Significato
M	La massa dell'auto
K_{a1}	La costante di attrito con l'aria
K_{a2}	La costante di attrito con l'asfalto
g	Accelerazione di gravità
p	Pendenza stradale
F	Forza da imprimere all'auto
v	Velocità dell'auto
a	Accelerazione

4.2.1 Le equazioni

L' equazioni utilizzate per il modello sono:

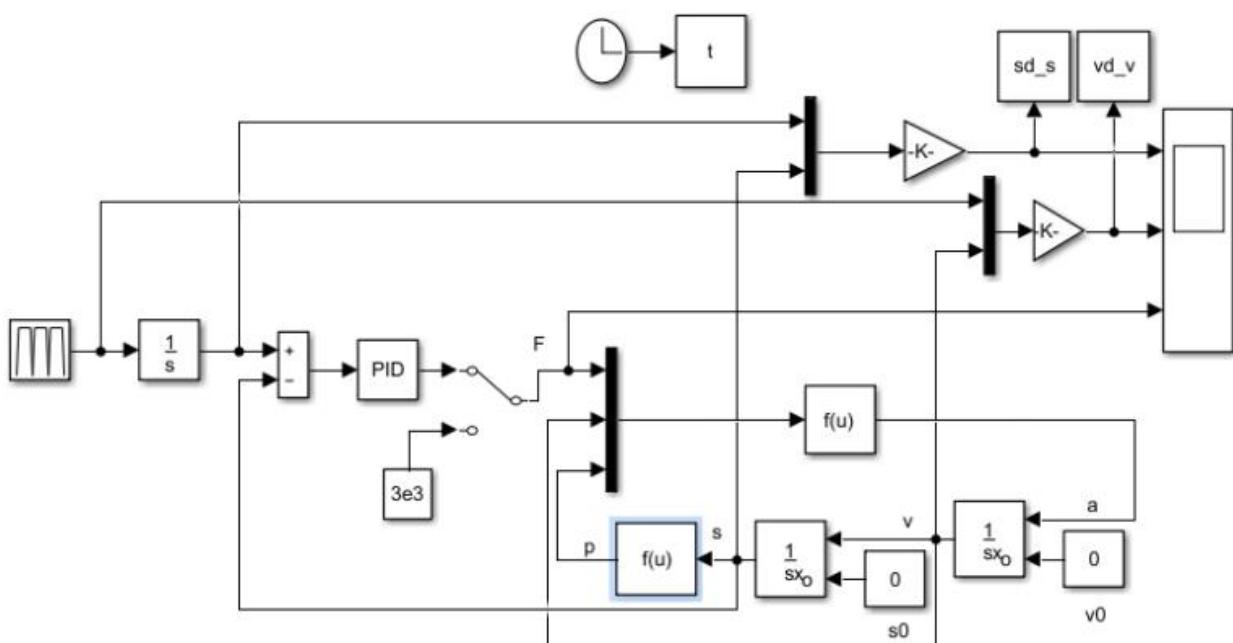
$$\begin{aligned} M\ddot{y} &= -K_{a1}\dot{y} - K_{a2}\dot{y}^2 \operatorname{sign}(\dot{y}) - gMp(y) + u \\ Ma &= K_{a1}v - K_{a2}v^2 \operatorname{sign}(v) - gMp + F \end{aligned} \quad (31)$$

Sapendo che $\ddot{y} = a$ ed $\dot{y} = v$

4.2.2 Simulink e simulazioni

Per la simulazione andremo a considerare le diverse masse delle auto (nel caso in esame vengono scelte tre tipi di auto con 3 differenti masse, dalla più pesante alla più leggera) e la costante di attrito dell'asfalto (per ogni auto si fa la simulazione con tre differenti asfalti).

Modello Simulink auto.mdl degli Autori (Figura 48)



$$\begin{aligned} M\ddot{y} &= -K_{a1}\dot{y} - K_{a2}\dot{y}^2 \operatorname{sgn}(\dot{y}) - gMp(y) + u \\ M\ddot{a} &= K_{a1}v - K_{a2}v^2 \operatorname{sgn}(v) - gMp + F \end{aligned}$$

G. e L. Celentano

Figura 48 Schema Simulink di un'auto

4.2.3 Simulazione auto con massa superiore ai 2000Kg

Si sceglie un'auto con massa superiore ai 2000Kg, la *Porsche Cayenne Turbo S* a 5 porte (Figura 49) con peso circa 2430 Kg.



Figura 49 Porsche Cayenne Turbo S

E si considerano tre tipi di asfalto:



Figura 50 Superficie asfalto rugoso con $K_{a2} = 0.80$



Figura 51 Superficie macadam compatto con $K_{a2} = 0.70$



Figura 52 Superficie pietra ruvida con $K_{a2} = 0.65$

I parametri con asfalto rugoso (figura 50)

Parametro	Valori
M	2430 Kg
K_{a1}	5 Ns/m
K_{a2}	0.80 Ns^2/m^2
g	9.8 m/s ²
$P(u)$	$10+10\sin(u/1000)$

Modificando opportunamente i parametri in simulink i risultati saranno i seguenti:

Simulazione con controllore PID disattivato, forza applicata costante di 3000 N

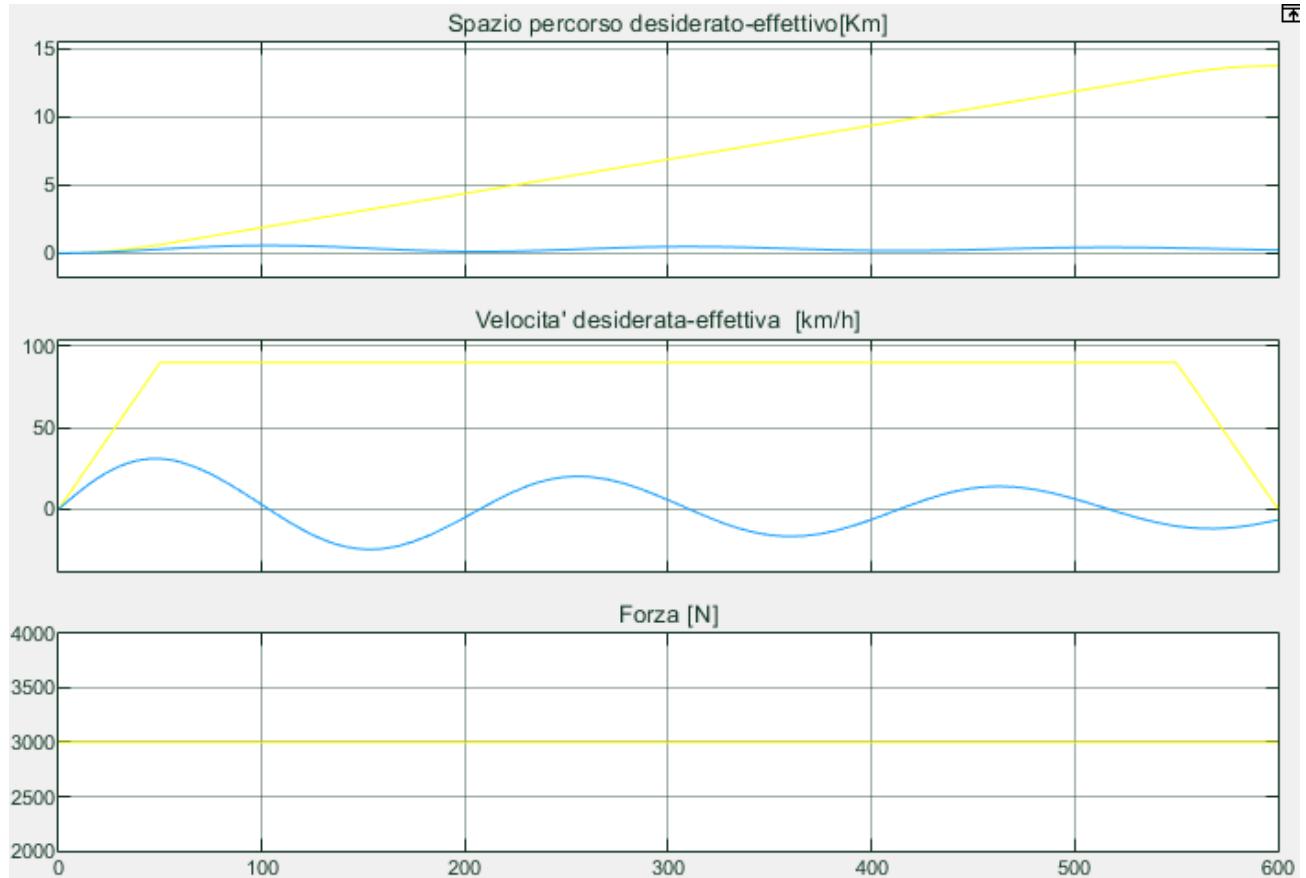


Figura 53 Spazio percorso effettivo/desiderato e velocità effettiva/desiderata senza PID

Qualora non sia attivo il controllore PID, la velocità è altalenante nel tempo e soprattutto lo spazio percorso desiderato effettivo è massimo 0.5 Km. Da notare la differenza che c'è tra i valori desiderati (giallo) e i valori effettivi (blu). In sostanza l'auto non è proprio partita.

Simulazione con controllore PID attivo con gestione della forza applicata

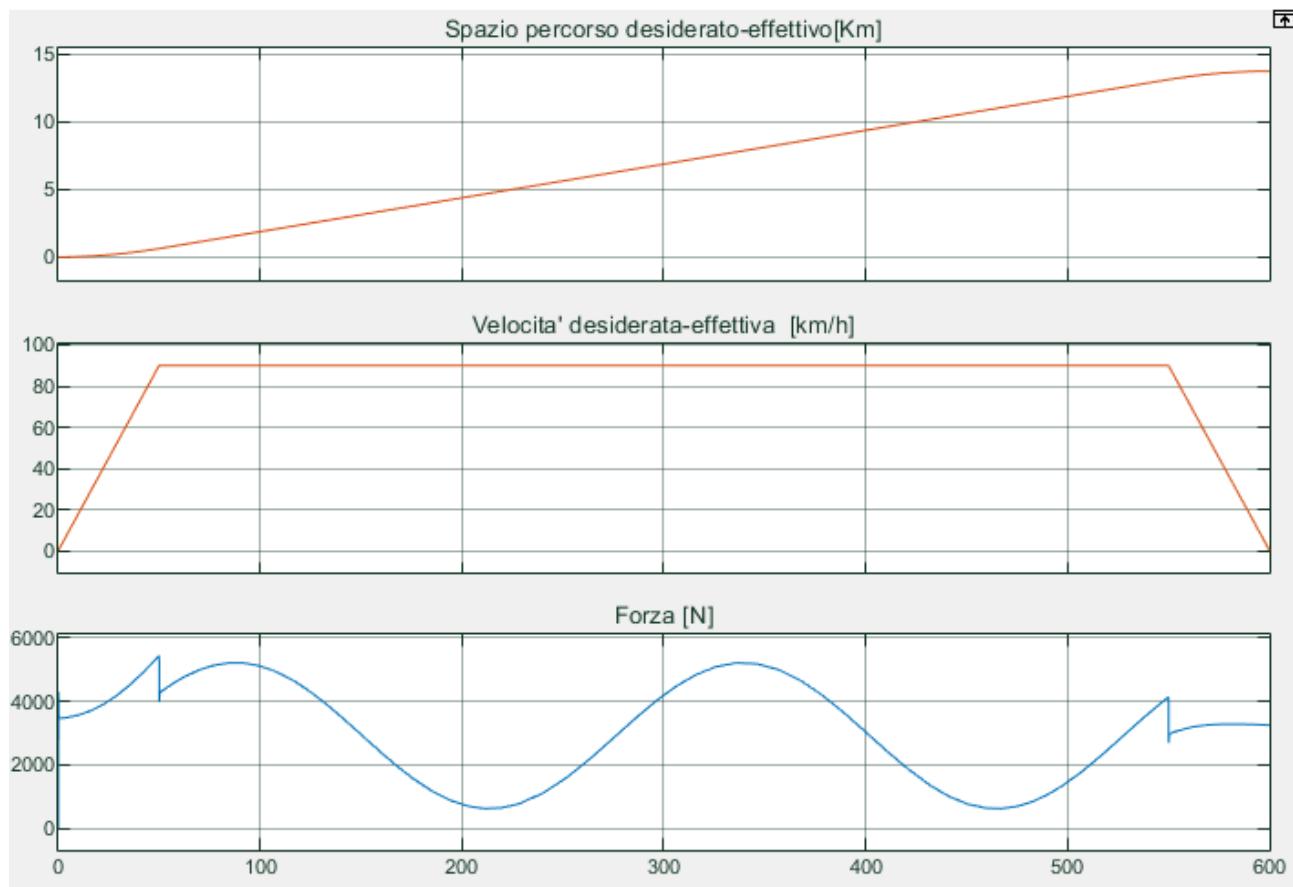


Figura 54 Spazio percorso effettivo/desiderato, velocità effettiva/desiderata e forza con PID

Dal grafico si nota come la forza (max 5432.2 N) sia variabile e soprattutto necessaria affinché l'auto possa giungere i circa 15 Km desiderati in 600 secondi. D'altra parte grazie al PID si nota come le linee desiderate ed effettive si sovrappongono.

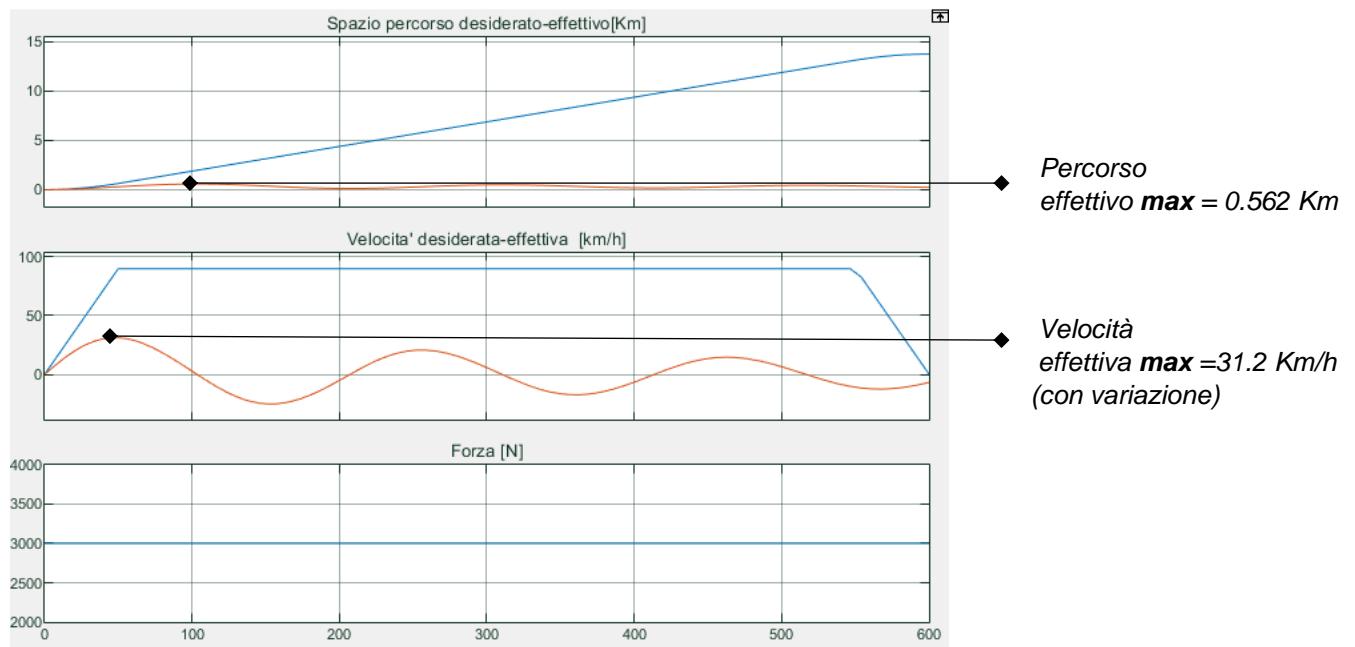
Si noterà nei prossimi risultati come cambierà per pochissimo i risultati della forza N poiché i coefficienti delle superfici cambiano per molto poco.

I parametri con macadam compatto (figura 52)

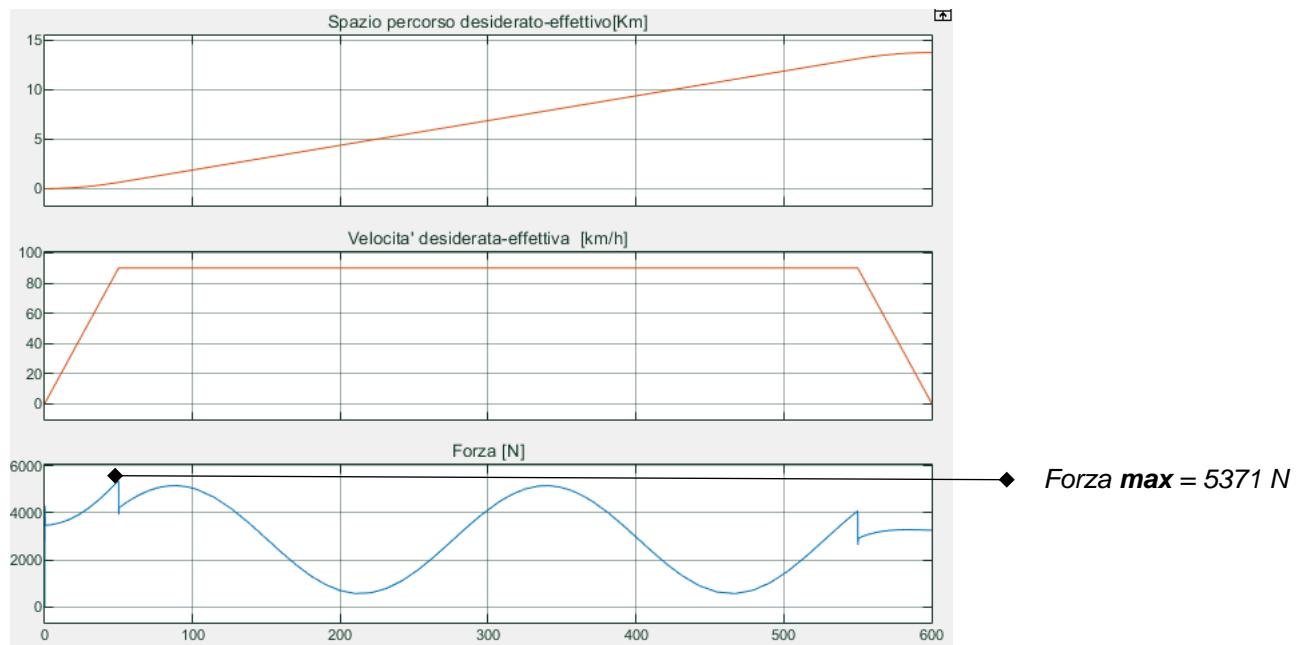
Parametro	Valori
M	2430 Kg
K_{a1}	5 Ns/m
K_{a2}	0.70 Ns^2/m^2
g	9.8 m/s^2
$P(u)$	$10+10\sin(u/1000)$

Modificando opportunamente i parametri in simulink i risultati saranno i seguenti:

Simulazione con controllore PID disattivato, forza applicata costante di 3000 N



Simulazione con controllore PID attivo con gestione della forza applicata

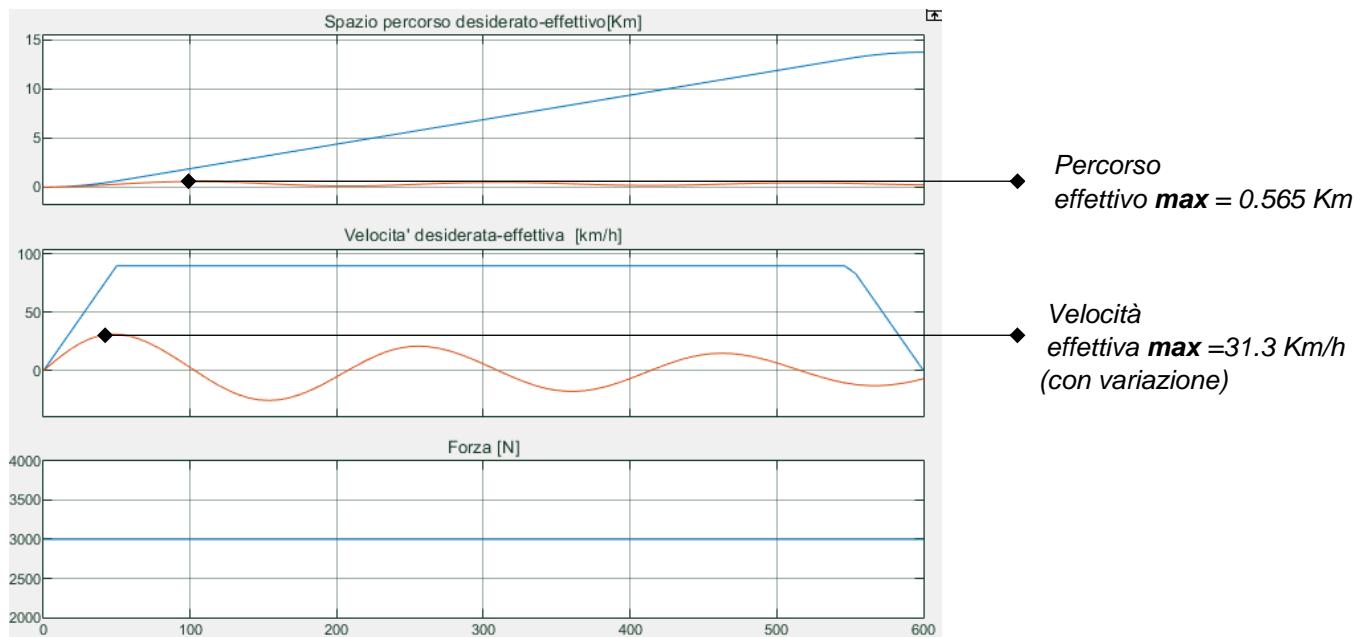


I parametri con *pietra ruvida* (figura 51)

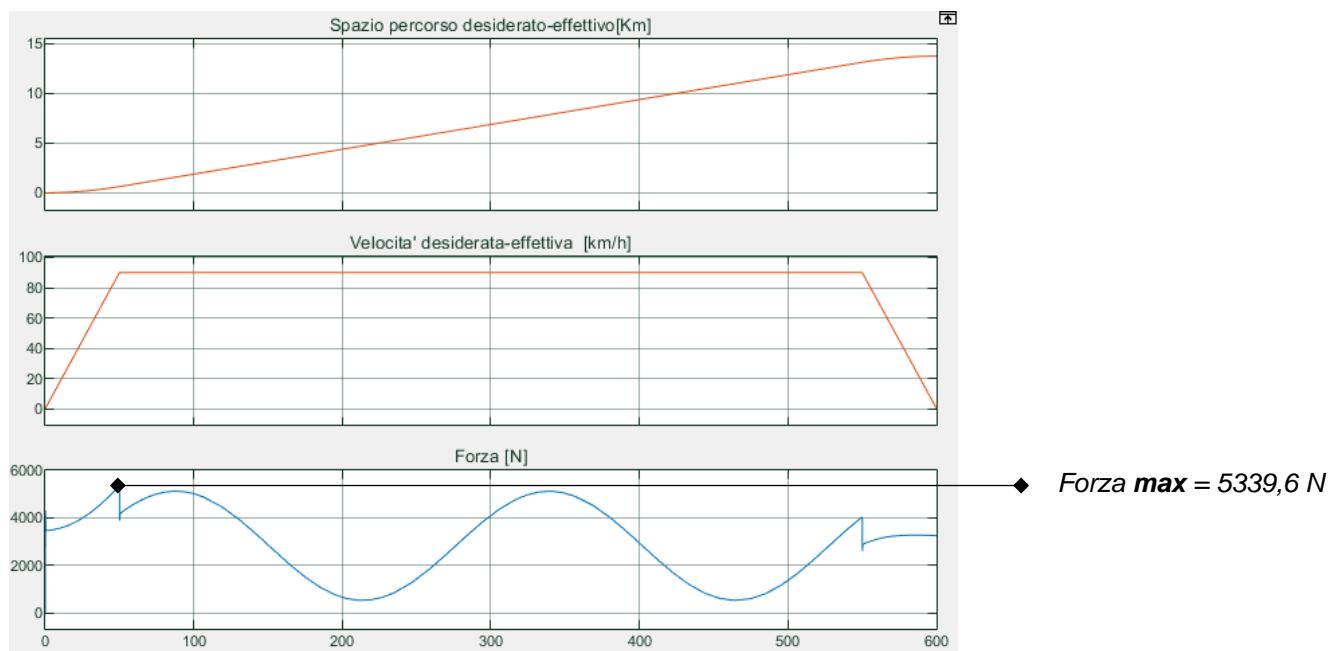
Parametro	Valori
M	2430 Kg
K_{a1}	5 Ns/m
K_{a2}	0.65 Ns ² /m ²
g	9.8 m/s ²
$P(u)$	10+10sin(u/1000)

Modificando opportunamente i parametri in simulink i risultati saranno i seguenti:

Simulazione con controllore PID disattivato, forza applicata costante di 3000 N



Simulazione con controllore PID attivo con gestione della forza applicata



Dai risultati, si notano le piccole differenze tra le varie superfici stradali nel max percorso effettivo senza PID, la velocità max effettiva senza PID mentre per la forza max che il PID deve imprimere all'auto per raggiungere lo spazio percorso desiderato e la velocità desiderata cambia in base al tipo di superficie e si nota come la forza max impressa all'auto sia scesa da 5432,2 N sull'asfalto ruvido ai 5339,6 N su pietra ruvida



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Auto → **pc_auto.mdl**

4.2.4 Simulazione auto con massa tra i 1000Kg e i 2000Kg

Si sceglie un'auto con massa 1320 Kg, la *Fiat Bravo 1.6 Mjet* a 5 porte (**Figura 54**).



Figura 54 Fiat Bravo 1.6

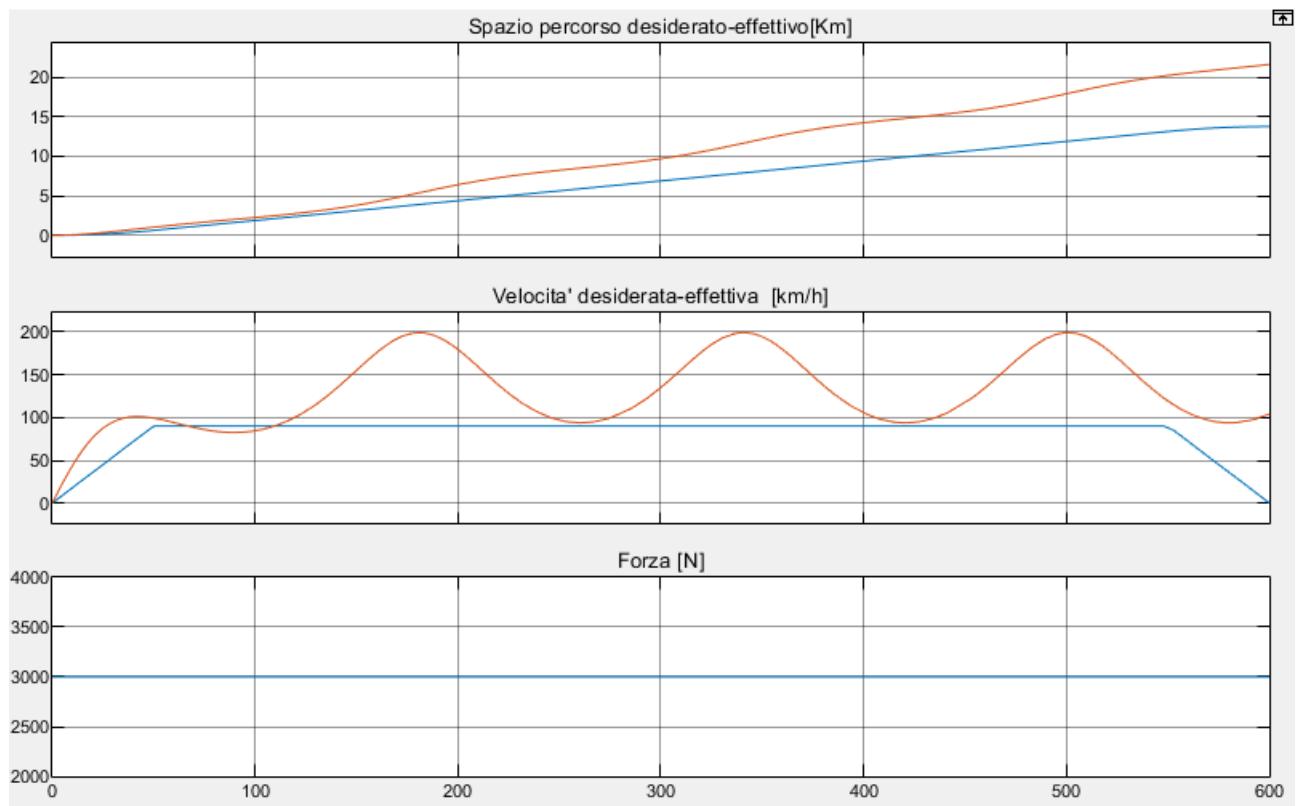
E si considerano tre tipi di asfalto: asfalto rugoso, macadam compatto e pietra ruvida.

I parametri con **asfalto rugoso** (figura 50)

Parametro	Valori
M	1320 Kg
K_{a1}	5 Ns/m
K_{a2}	0.80 Ns ² /m ²
g	9.8 m/s ²
$P(u)$	10+10sin(u/1000)

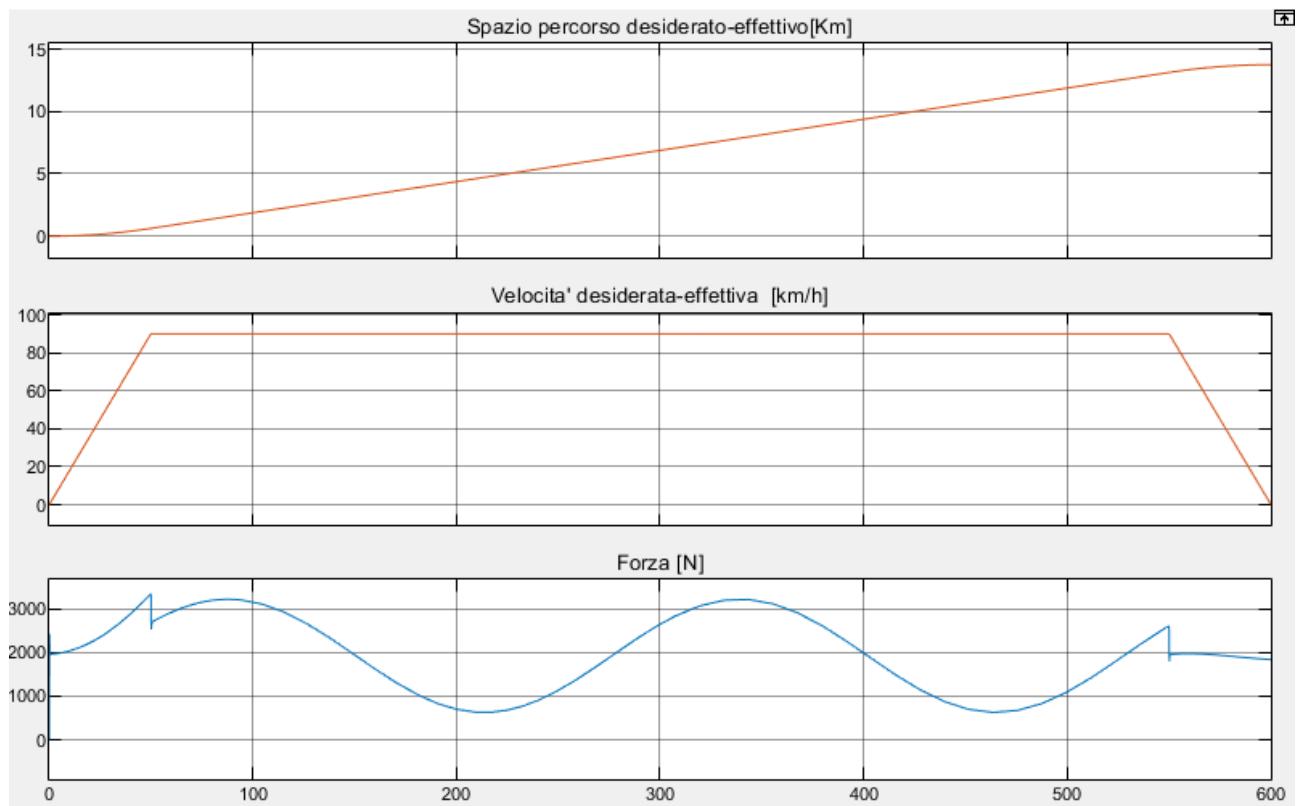
Modificando opportunamente i parametri in simulink i risultati saranno i seguenti:

Simulazione con controllore PID disattivato, forza applicata costante di 3000 N



Qualora non sia attivo il controllore PID, la velocità dell'auto e lo spazio da essa percorso variano fortemente da come si vorrebbero ottenere. In particolare, lo spazio percorso effettivo aumenta più velocemente di quello desiderato, mentre la velocità oscilla a causa della pendenza oscillante.

Simulazione con controllore PID attivo con gestione della forza applicata



Essendo il peso dell'auto in esame è diminuito rispetto alla simulazione precedente, si nota come la forza max sia circa 3310 N.

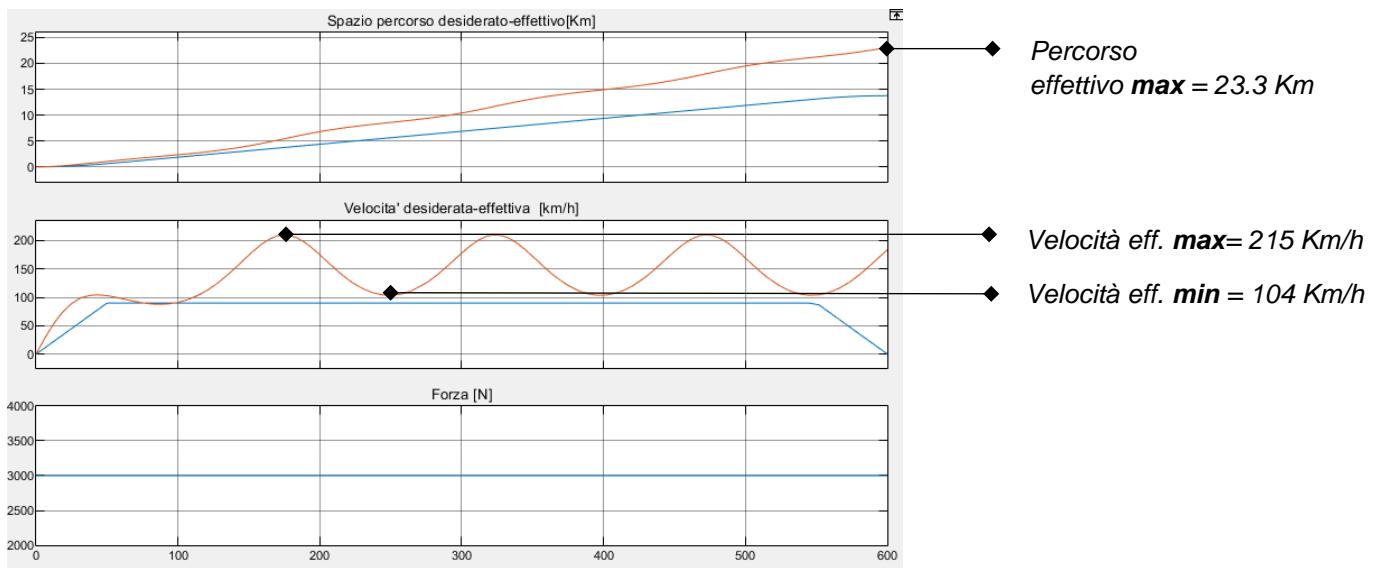
Si nota anche in questo esempio come risultati cambiano a seconda della superficie in esame.

I parametri con macadam compatto (figura 52)

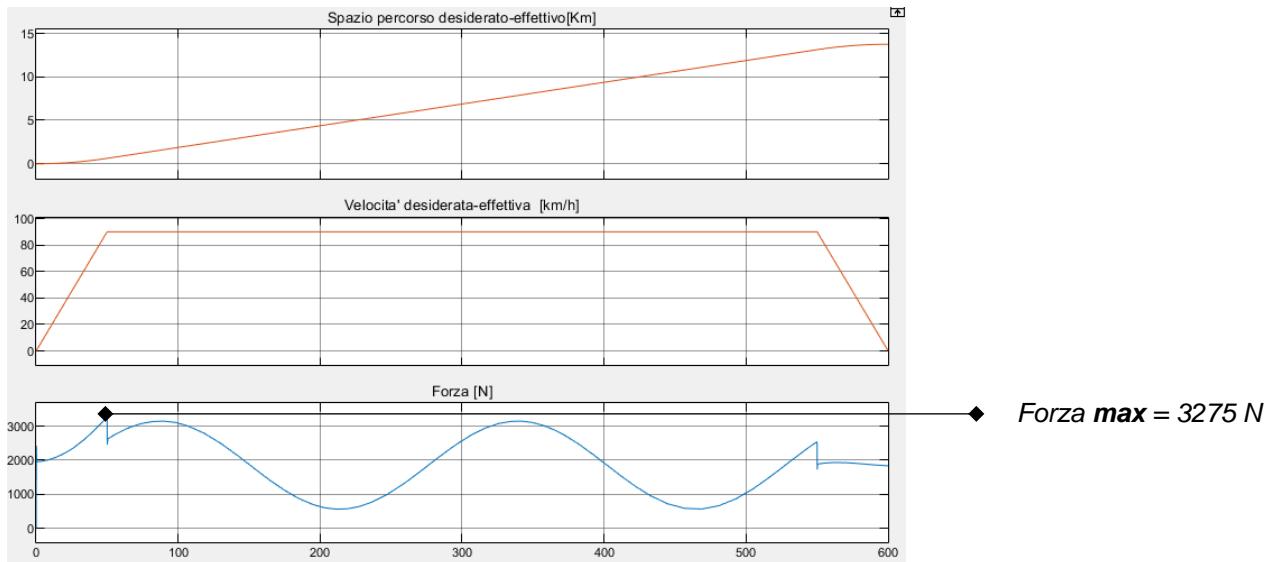
Parametro	Valori
M	1320 Kg
K_{a1}	5 Ns/m
K_{a2}	0.70 Ns^2/m^2
g	9.8 m/s^2
$P(u)$	$10+10\sin(u/1000)$

Modificando opportunamente i parametri in simulink i risultati saranno i seguenti:

Simulazione con controllore PID disattivato, forza applicata costante di 3000 N



Simulazione con controllore PID attivo con gestione della forza applicata



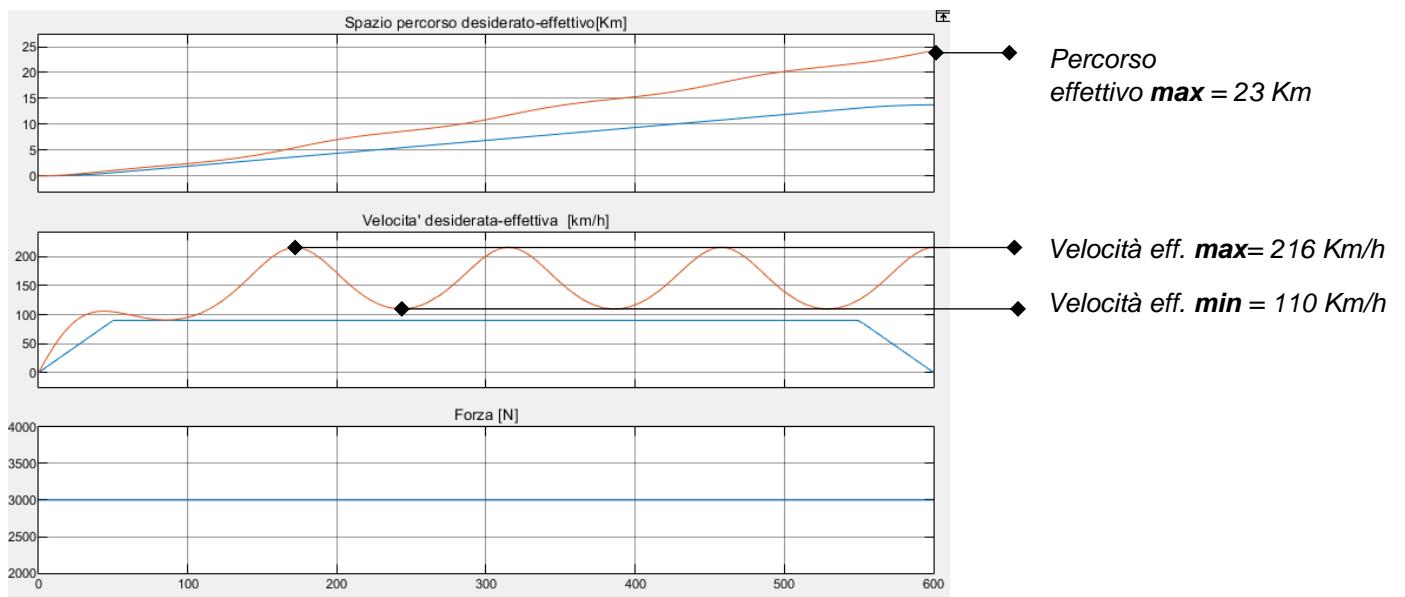
Nel caso di forza applicata costante si ha un percorso effettivo max di circa 23.3 Km ed una variazione di velocità nel tempo tra i 215 Km/h e i 104 Km/h. Il problema però è che l'auto in esame (Fiat Bravo) non è in grado di raggiungere simili velocità. Dunque utilizzando un controllore PID è possibile avere spazio percorso e velocità desiderata.

I parametri con pietra ruvida (figura 51)

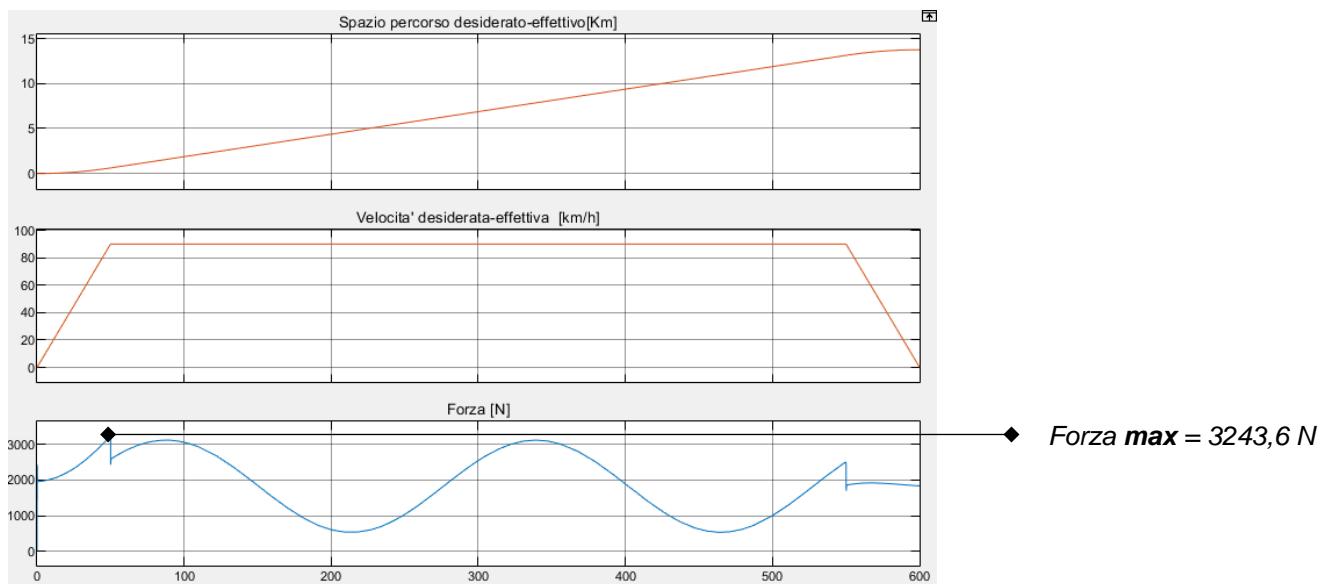
Parametro	Valori
M	1320 Kg
K_{a1}	5 Ns/m
K_{a2}	0.65 Ns ² /m ²
g	9.8 m/s ²
$P(u)$	10+10sin(u/1000)

Modificando opportunamente i parametri in simulink i risultati saranno i seguenti:

Simulazione con controllore PID disattivato, forza applicata costante di 3000 N



Simulazione con controllore PID attivo con gestione della forza applicata



Dai risultati, si notano le piccole differenze tra le varie superfici stradali nel max percorso effettivo senza PID, la velocità max effettiva senza PID mentre per la forza max che il PID deve imprimere all'auto per raggiungere lo spazio percorso desiderato e la velocità desiderata che cambia in base al tipo di superficie.



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Auto → **fp_auto.mdl**

4.2.5 Simulazione auto con massa minore di 1000kg

Si sceglie un'auto con massa 860 Kg, la *Fiat Panda 1.2 60 Hp Dynamic Dualogic 5 porte* (**Figura 55**).



Figura 55 *Fiat Panda 1.2 60 Hp Dynamic Dualogic 5*

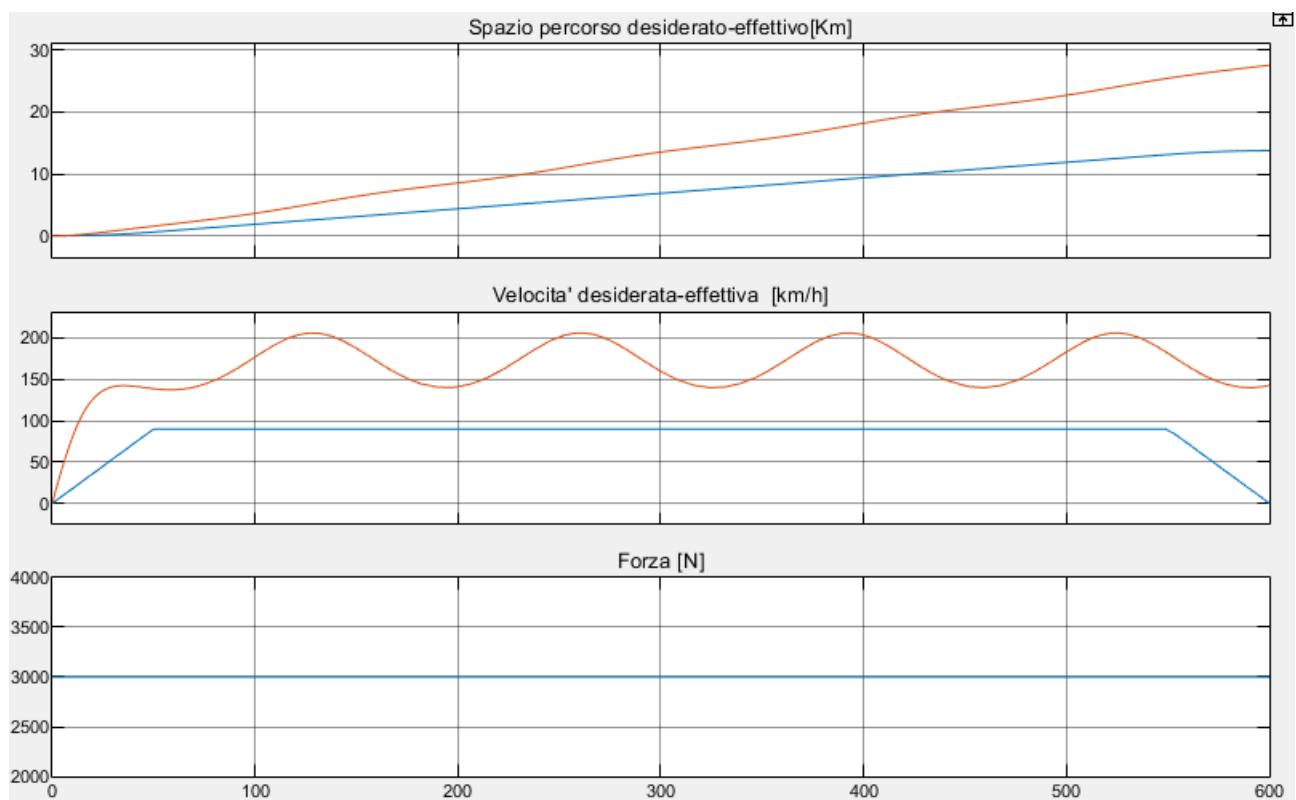
E si considerano tre tipi di asfalto: asfalto rugoso, macadam compatto e pietra ruvida.

I parametri con **asfalto rugoso** (Figura 50)

Parametro	Valori
M	860 Kg
K_{a1}	5 Ns/m
K_{a2}	0.80 Ns ² /m ²
g	9.8 m/s ²
$P(u)$	$10+10\sin(u/1000)$

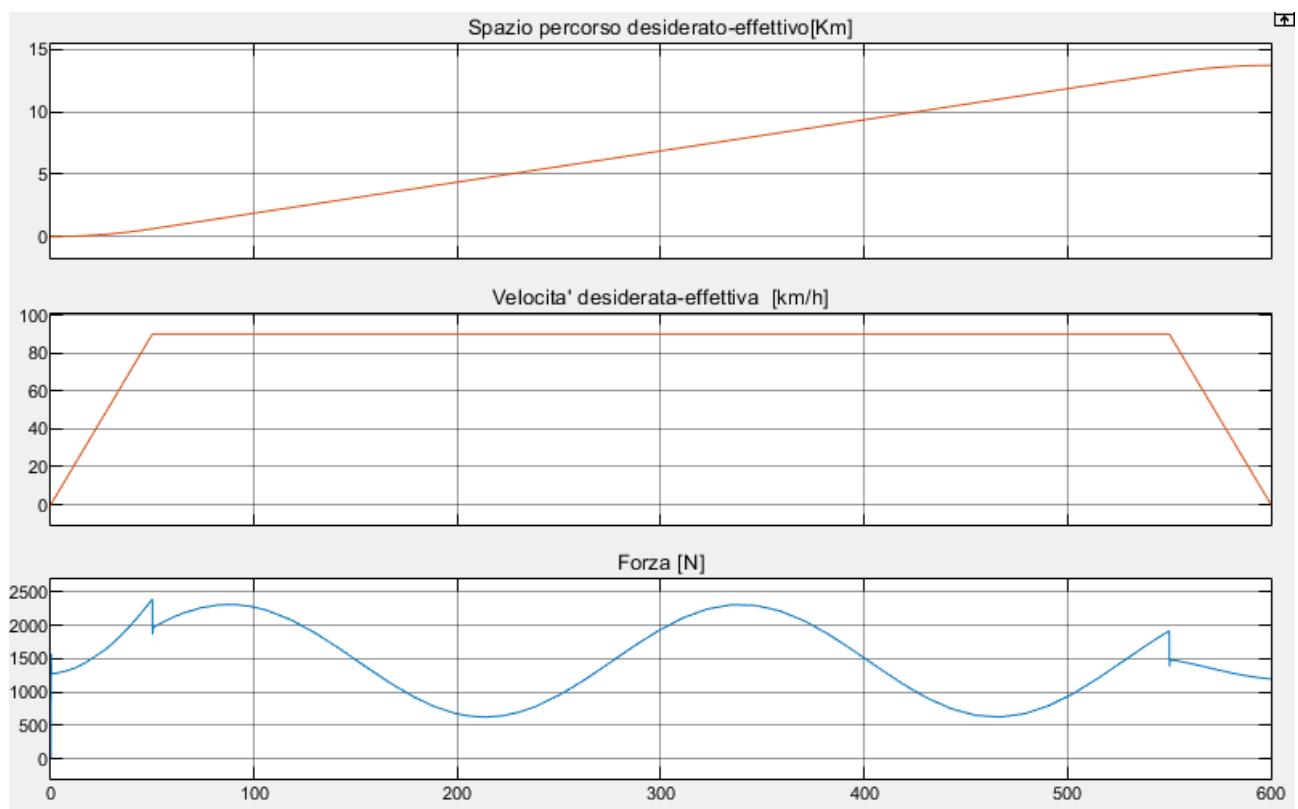
Modificando opportunamente i parametri in simulink i risultati saranno i seguenti:

Simulazione con controllore PID disattivato, forza applicata costante di 3000 N



Anche nel test della Fiat Panda, la velocità massima che si raggiunge non è pensabile per un'auto del genere. Per questo anche qui l'uso del controllore PID è necessario.

Simulazione con controllore PID attivo con gestione della forza applicata



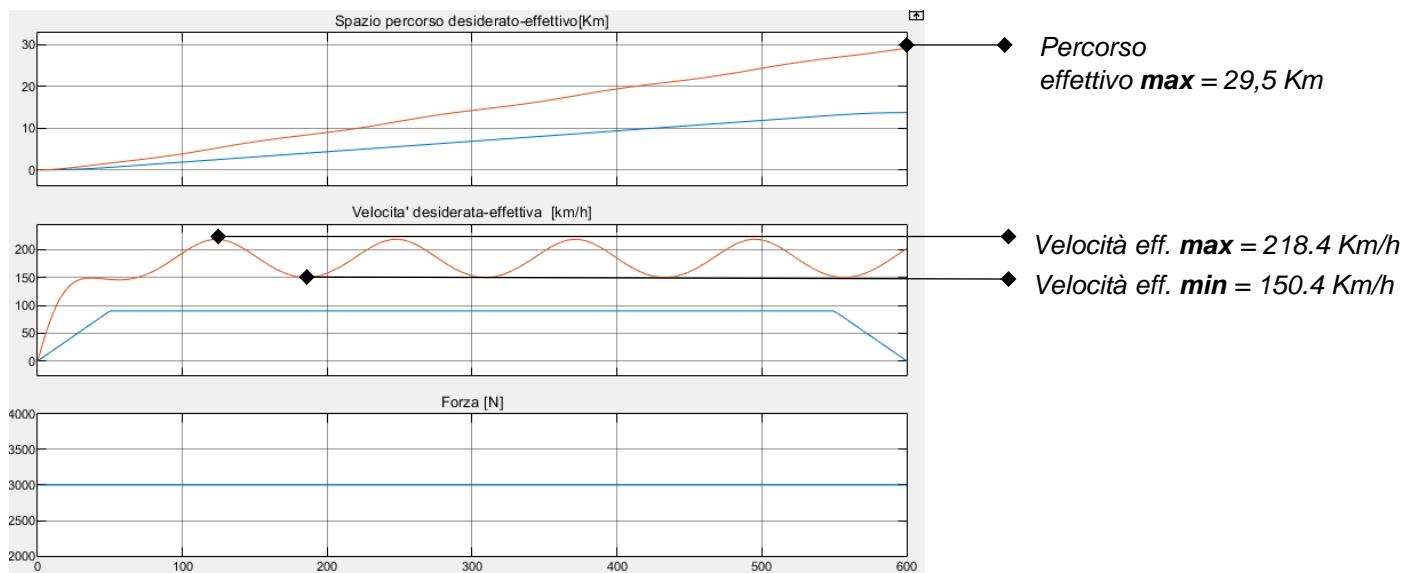
Forza max raggiunta è 2400 N circa con uso controllore PID.

I parametri con macadam compatto (Figura 52)

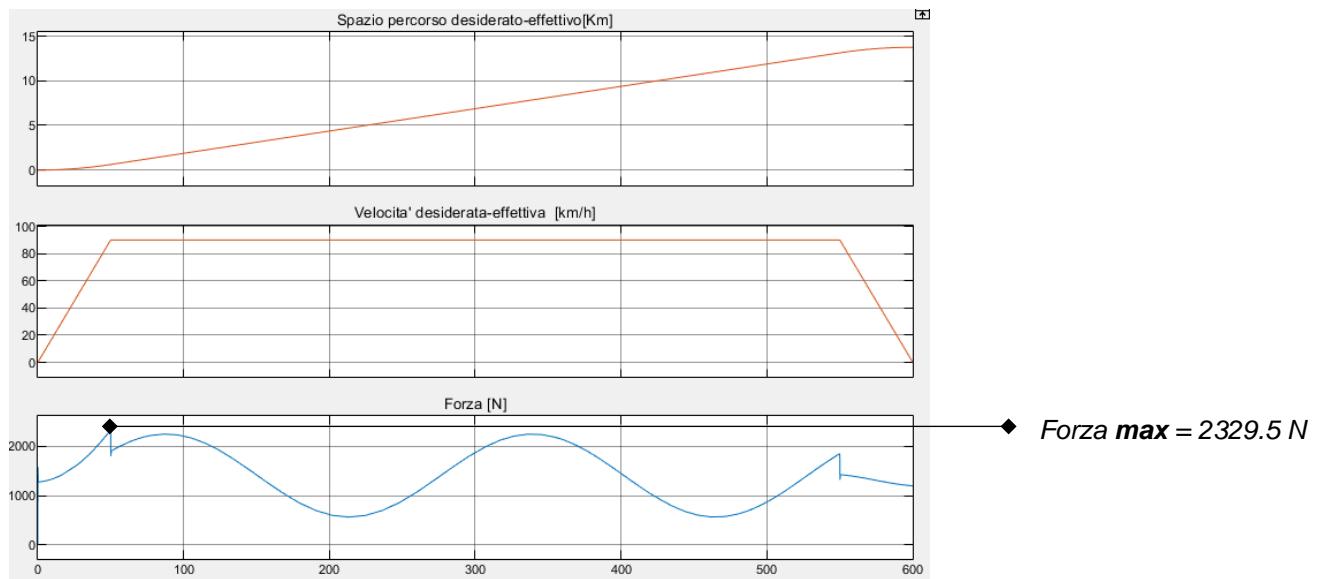
Parametro	Valori
M	860 Kg
K_{a1}	5 Ns/m
K_{a2}	0.70 Ns ² /m ²
g	9.8 m/s ²
$P(u)$	$10+10\sin(u/1000)$

Modificando opportunamente i parametri in simulink i risultati saranno i seguenti:

Simulazione con controllore PID disattivato, forza applicata costante di 3000 N



Simulazione con controllore PID attivo con gestione della forza applicata



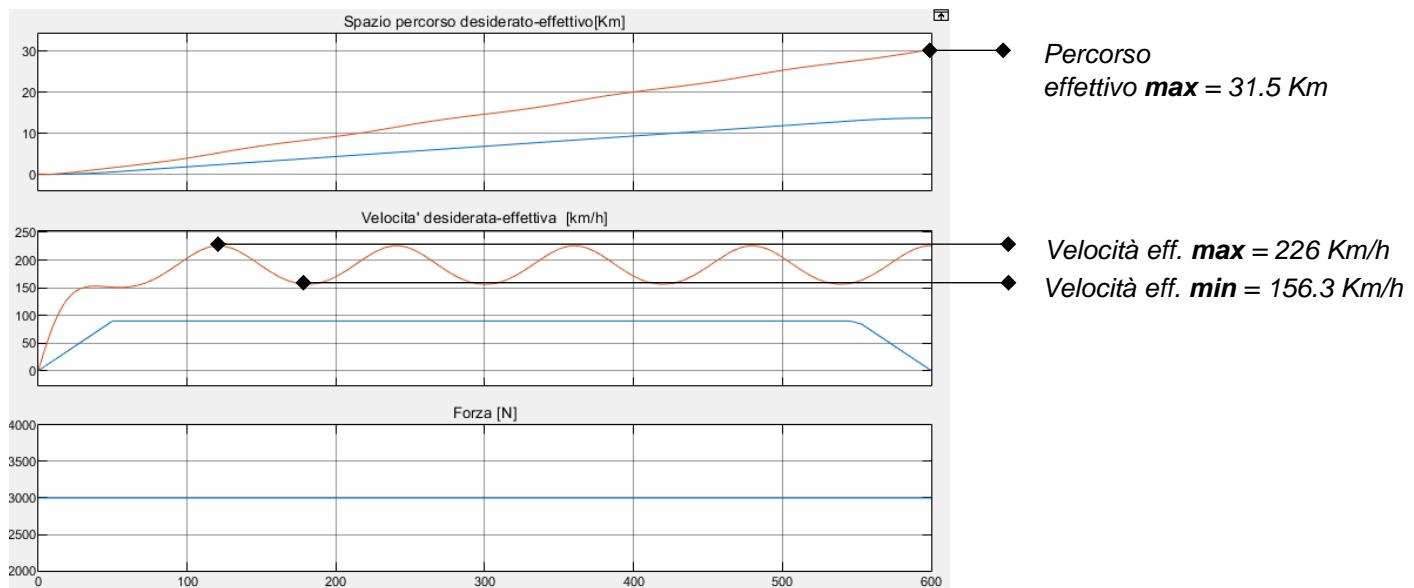
Anche in questo esempio si debba considerare la velocità max che si raggiunge in caso di controllore PID disattivato.

I parametri con pietra ruvida (Figura 51)

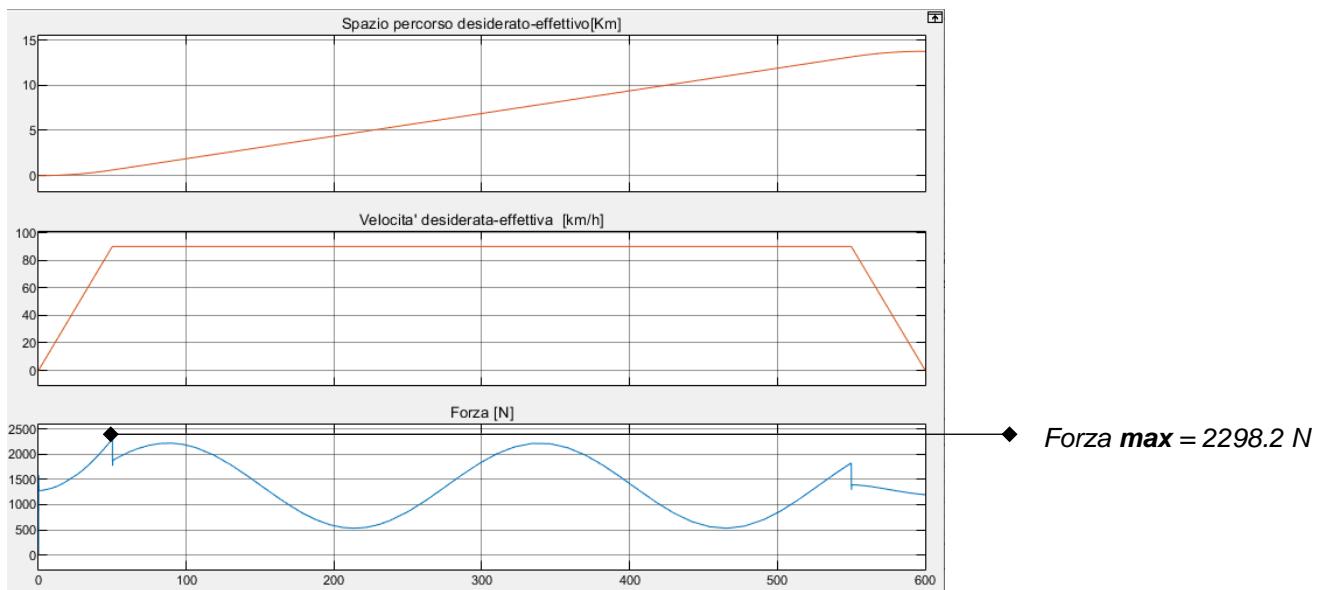
Parametro	Valori
M	860 Kg
K_{a1}	5 Ns/m
K_{a2}	0.65 Ns ² /m ²
g	9.8 m/s ²
$P(u)$	10+10sin(u/1000)

Modificando opportunamente i parametri in simulink i risultati saranno i seguenti:

Simulazione con controllore PID disattivato, forza applicata costante di 3000 N



Simulazione con controllore PID attivo con gestione della forza applicata



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Auto → fp_auto.mdl

4.3 Conclusioni

Effettuando dunque dei test su come l'auto si comporta su pendenza oscillante in base al tipo di superficie si nota che:

- Più la massa M dell'auto aumenta, più l'auto ha bisogno di più forza per avere i risultati desiderati.
- Per ogni auto si nota come al diminuire del coefficiente di attrito dell'asfalto e quindi cambiando il tipo di asfalto lo spazio percorso effettivo aumenti al diminuire del coefficiente di attrito.

In definitiva quindi l'uso del controllore PID a bordo di un'auto è favorevole per garantire spazio percorso e velocità desiderata e soprattutto imprimere un quantitativo di forza giusto proprio per ridurre i costi e consumi dell'auto. Considerando anche un'auto di grandi dimensioni (come nel primo caso in esame) la riduzione dei costi e consumi sono fattori importantissimi.

5 Trasformatore

5.1 Introduzione

Il trasformatore è una macchina elettrica statica che trasforma quindi energia elettrica elevandone o riducendone la tensione.

Le principali applicazioni che possiamo riscontrare nei dispositivi elettrici di uso comune riguardano la riduzione della tensione di rete (220V) ai pochi volt necessari (3.6V, 5V, 12V, 24V ecc.) ad alimentare i circuiti elettronici delle apparecchiature (computer, televisori, lettori DVD, caricabatteria per cellulari, ecc.).

Un'altra importante applicazione è quella di trasformare l'energia fornita dalla centrale di generazione e smistarla con un voltaggio maggiore sulle linee ad alta tensione (trasformatore elevatore) e poi trasformarla per l'utenza finale e quindi ridurre la distribuzione a 220V (trasformatore riduttore) (**Figura 57**).

Il trasformatore è un componente formato principalmente da due avvolgimenti con un diverso numero di spire intorno ad un nucleo ferromagnetico. In base al numero di spire dell'avvolgimento primario o secondario, per il principio di induzione elettrica, la tensione si alza o si abbassa, in modo inverso rispetto alla corrente, dato che la potenza deve rimanere costante (**Figura 56**).

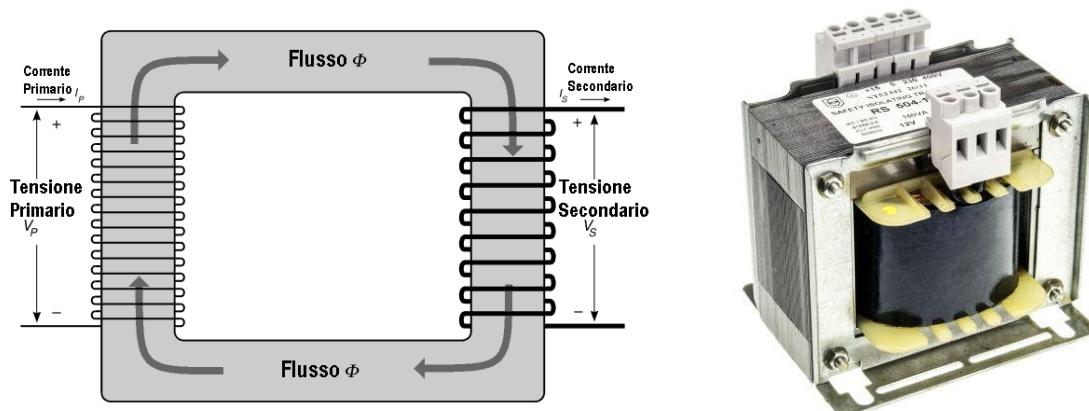


Figura 56 Schema grafico di un trasformatore (sinistra) e trasformatore reale (destra)

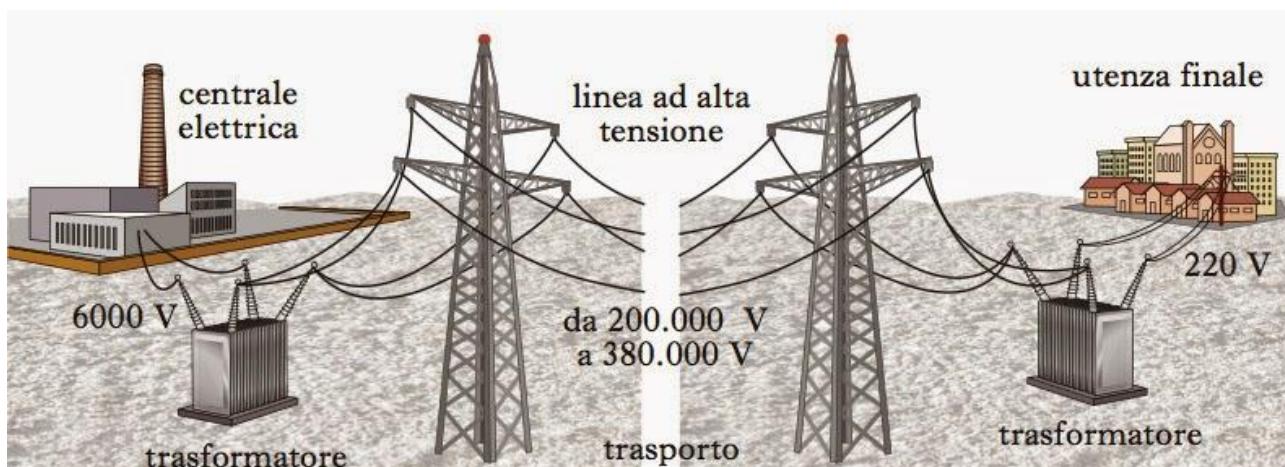


Figura 57 Trasmissione dell'energia e reti elettriche

Un possibile schema circuitale del trasformatore è in **Figura 58**

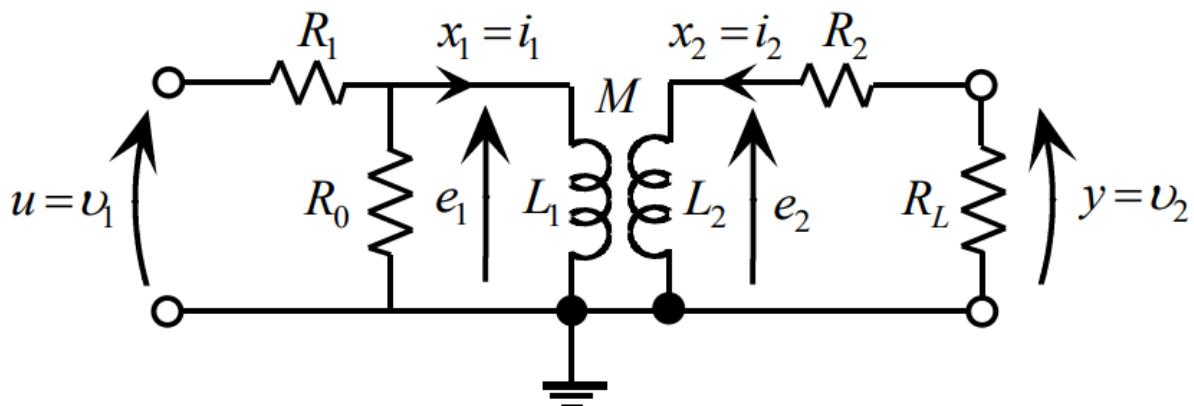


Figura 58 Circuito equivalente di un trasformatore

5.2 Individuazione parametri e modello matematico

Dalla **figura 58** si individuano i seguenti parametri.

Parametro	Value
R_1	Resistenza primaria
R_2	Resistenza secondaria
R_0	Resistenza che tiene conto delle perdite nel ferro per isteresi e per correnti parassite
L_1	Induttanza primaria
L_2	Induttanza secondaria
M	Accoppiamento perfetto
N	Numero spire degli avvolgimenti
i_1	Intensità di corrente primario
i_2	Intensità di corrente secondario

Per la risoluzione del circuito, si beneficia dell'*accoppiamento perfetto* ($|M| = \sqrt{L_1 L_2}$) tra avvolgimento primario e secondario e sia $R_1 = R_2 = \frac{1}{R_0} = 0$ si ha:

$$v_1 = e_1 = L_1 \dot{x}_1 + |M| \dot{x}_2 \quad (32)$$

$$v_2 = e_2 = L_2 \dot{x}_2 + |M| \dot{x}_1$$

Dove:

$$\frac{|M|}{L_2} = \frac{L_1}{|M|} = \frac{N_1}{N_2} = n \quad (33)$$

In cui N_1 e N_2 sono le spire dell'avvolgimento primario e secondario ed n è il rapporto di trasformazione.

Combinando la (32) e la (33) si ha:

$$\begin{aligned} v_1 &= L_1 \dot{x}_1 + n L_2 \dot{x}_2 \\ v_2 &= \frac{L_1}{n} \dot{x}_1 + L_2 \dot{x}_2 = \frac{1}{n} (L_1 \dot{x}_1 + n L_2 \dot{x}_2) \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = n \end{aligned} \quad (34)$$

$$v_1 i_1 = v_2 (-i_2) \text{ ma } \frac{i_1}{-i_2} = \frac{1}{n} \text{ ed } R_L = \frac{v_1}{i_1} = \frac{n v_2}{-i_2/n} = n^2 R_L. \quad (35)$$

In caso di accoppiamento non perfetto ($|M| < \sqrt{L_1 L_2}$) si ha:

$$u = R_1 \left(x_1 + \frac{L_1 \dot{x}_1 + M \dot{x}_2}{R_0} \right) + L_1 \dot{x}_1 + M \dot{x}_2 \quad (36)$$

$$L_1 \dot{x}_2 + M \dot{x}_1 = x_2 (R_2 + R_L)$$

In forma matriciale

$$P \dot{x} = \begin{bmatrix} \frac{R_1 L_1}{R_0} + L_1 & \frac{R_1 L_1}{R_0} + M \\ M & L_2 \end{bmatrix} \dot{x} = Qx + Ru = \begin{bmatrix} -R_1 & 0 \\ 0 & R_2 + R_L \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u. \quad (37)$$

E dalla 37 si ha:

$$\dot{x} = P^{-1} Qx + P^{-1} Ru = Ax + Bu$$

$$y = [0 \quad -R_L] x \text{ o } y = \begin{bmatrix} v_2 \\ i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -R_L \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x \quad (38)$$

5.3 Simulazione su Matlab e Simulink

Si suppongono i seguenti parametri:

Parametro	Value
R_1	3 Ω
R_2	1.025 Ω
R_0	5 K Ω
R_L	2.5 Ω
L_1	5 H
L_2	0.0595 H
M	0.5290
n	9.4517

E li inseriamo su **s_trasformatore.m** degli Autori

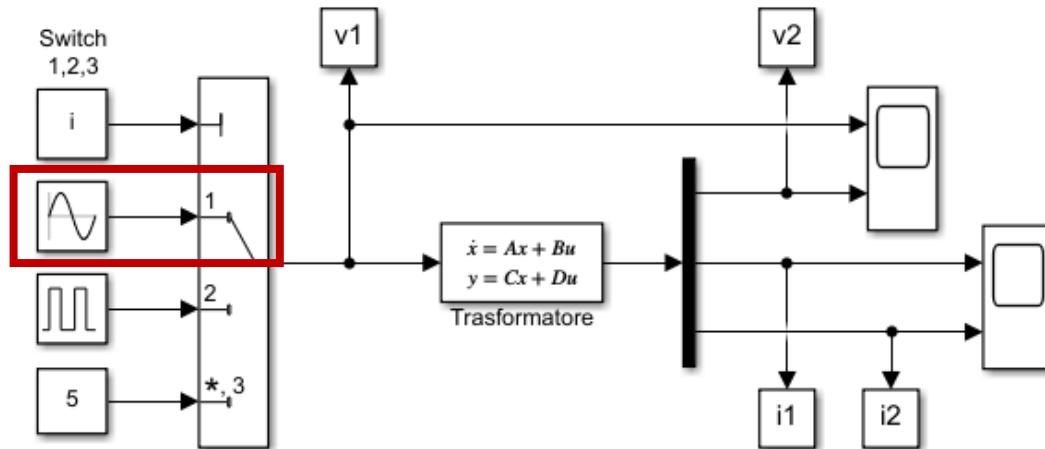
```

2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %% Simula un trasformatore per diverse tensioni di ingresso %%
4 %% e determina la risposta in frequenza %%
5 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
6
7 %% Autori: G. e L. Celentano
8
9 - clc, close all, clear all
10
11 %Dati simulazione|
12 - R1=3;L1=5;
13 - R2=1.025;L2=0.0595;
14 - M=0.97*sqrt(L1*L2);
15 - n=L1/M;
16 - R0=5e3;
17
18 - RL=2.5;
19
20 - P=[R1*L1/R0+L1 R1*M/R0+M; M L2];
21 - Q=[-R1 0;0 -R2-RL];
22 - R=[1 0]';
23
24 - Pi=inv(P);
25 - A=Pi'*Q;B=Pi'*R;
26 - C=[0 -RL;1 0;0 1];D=[0 0];
27 - x0=zeros(2,1);
28

```

Si apre **trasformatore.mdl** degli Autori

In Simulink si va a modificare gli ingressi spostando i vari blocchi di onde sinusoidali, quadri o costante.



G. e L. Celentano

Figura 59 Simulink con ingresso sinusoidale 220V

La prima simulazione ha tensione in ingresso pari ad una sinusoide di ampiezza $220\sqrt{2}$ V con frequenza a 50Hz e fase di $\pi/4$.

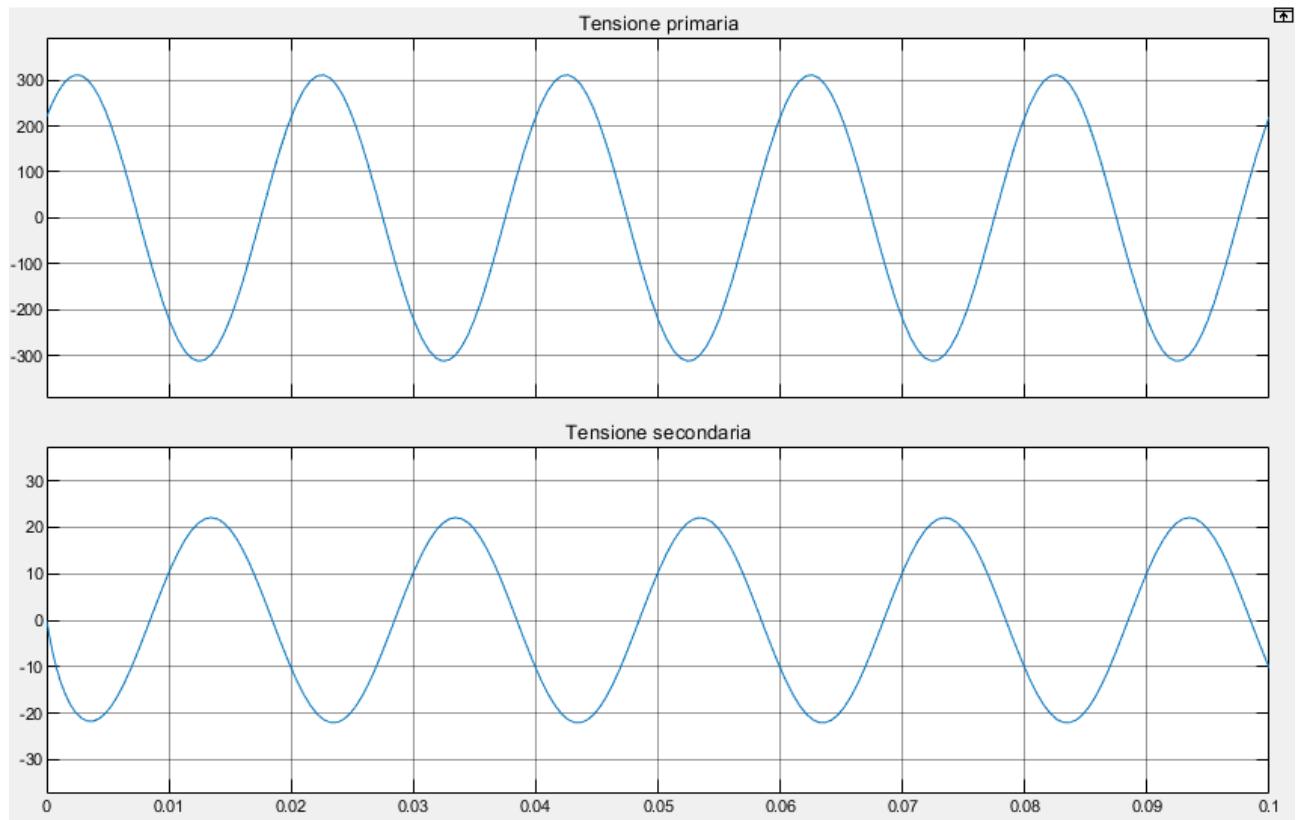
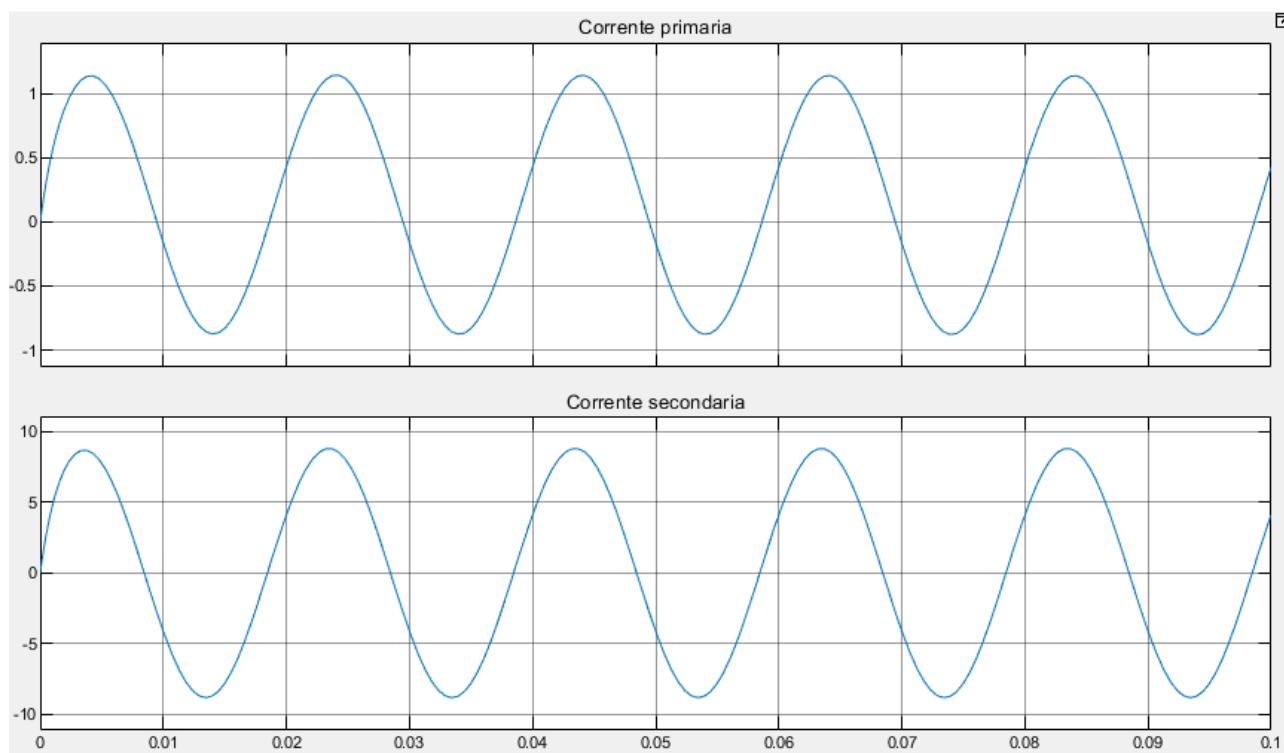
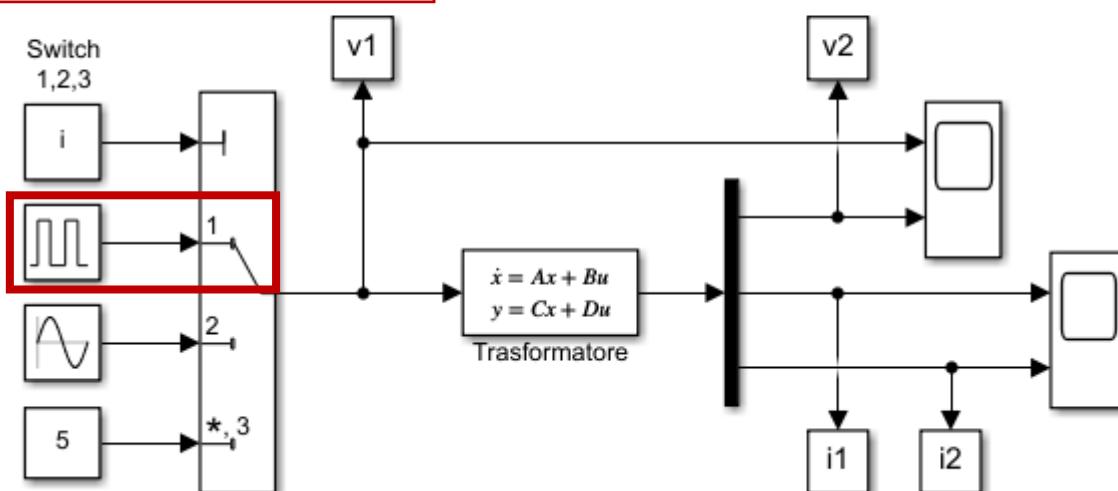


Figura 60 Grafici delle tensioni

**Figura 61** Grafici delle correnti

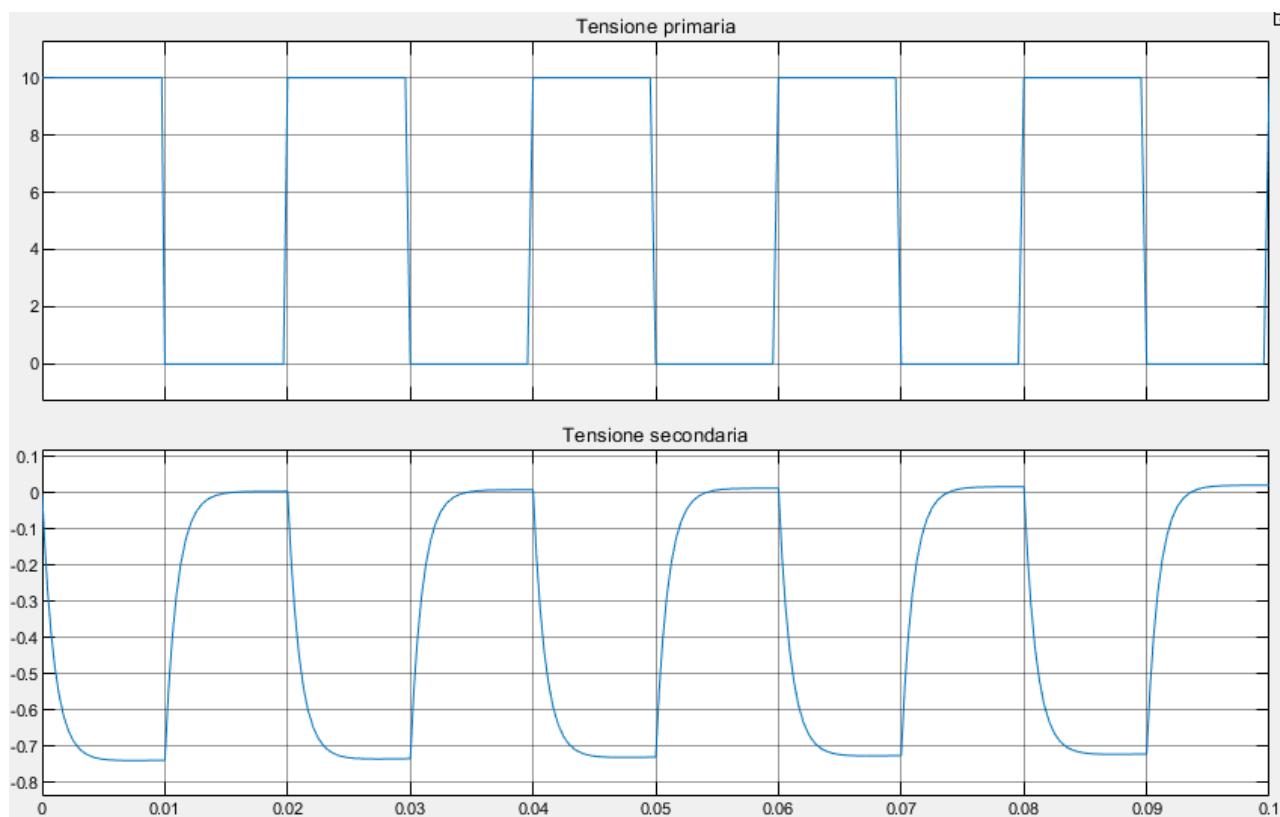
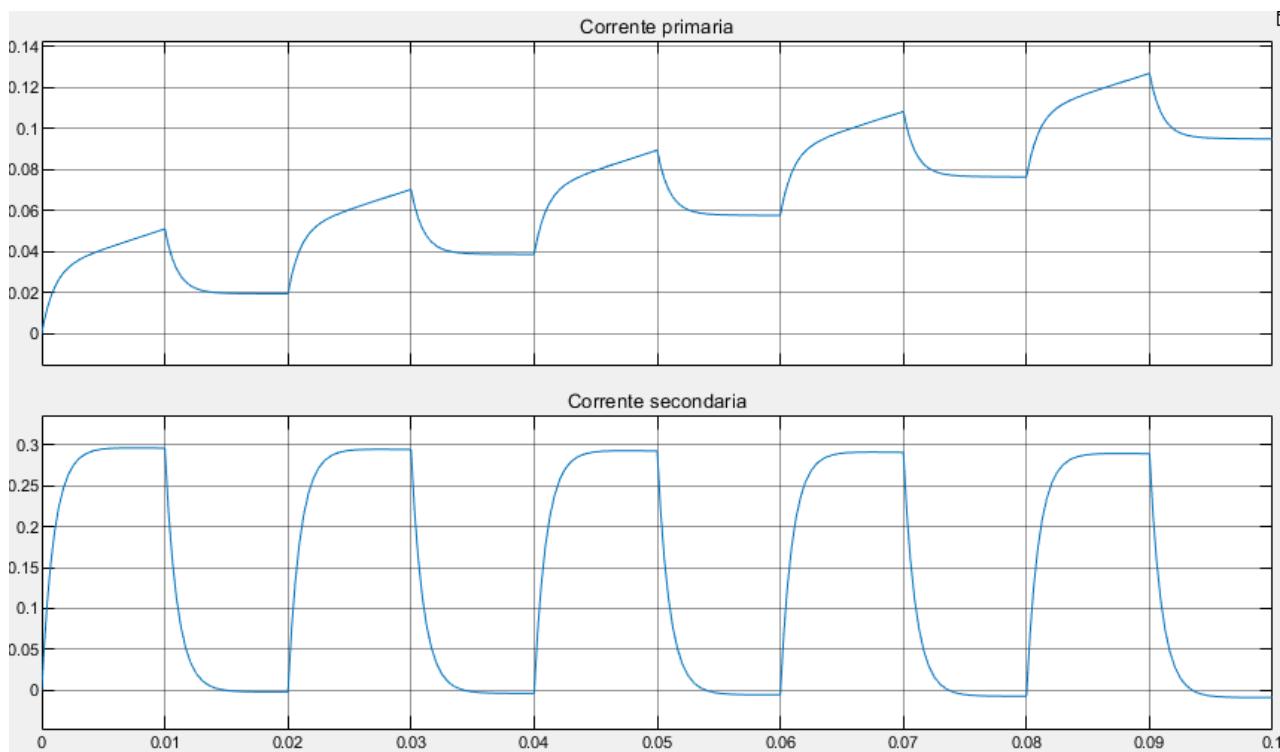
Questo è il caso della trasformazione di una tensione molto comune, che è proprio quella che viene distribuita per l'utenza finale. In **Figura 60** la tensione che arriva sull'avvolgimento primario viene trasformata in ampiezza e in fase sull'avvolgimento secondario. In particolare l'ampiezza diminuisce da 310V circa a 24V circa.

Si modifica l'ingresso con un'onda quadra di ampiezza 10V e periodo di 0.02 secondi e Duty Cicle del 50%



G. e L. Celentano

Figura 61 Simulink con ingresso onda quadra con ampiezza di 10V

**Figura 62** Grafici tensione onda quadra nel primario**Figura 63** Grafici corrente onda quadra nel primario

Dal grafico in **Figura 62** si vede la tensione applicata come onda quadra con ampiezza di 10V. La tensione in uscita che si comporta in modo simile ad un'onda quadra, viene filtrata per effetto delle induttanze presenti nel trasformatore. Allo stesso modo le induttanze influenzano fortemente le correnti, che hanno una forma molto simile tra

primario e secondario, ma si vede dalla **Figura 63** che sul primo, la corrente tende a crescere. Rimane invariato il principio secondo cui la tensione diminuisce e la corrente aumenta.

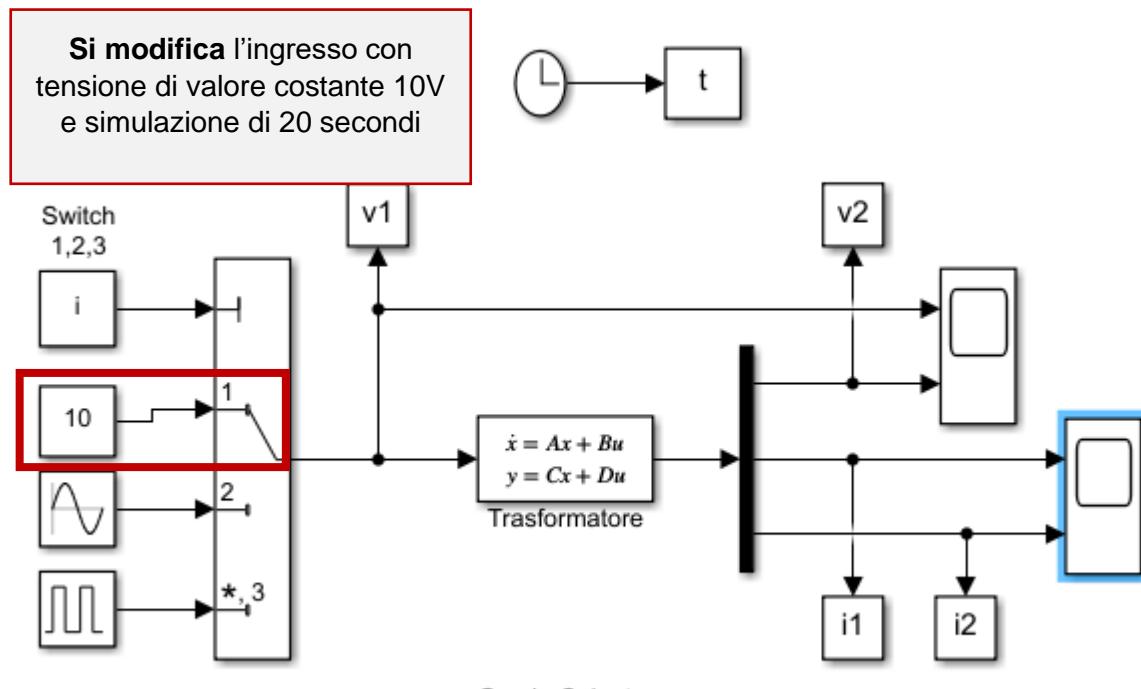


Figura 64 Simulink con ingresso tensione costante 10V

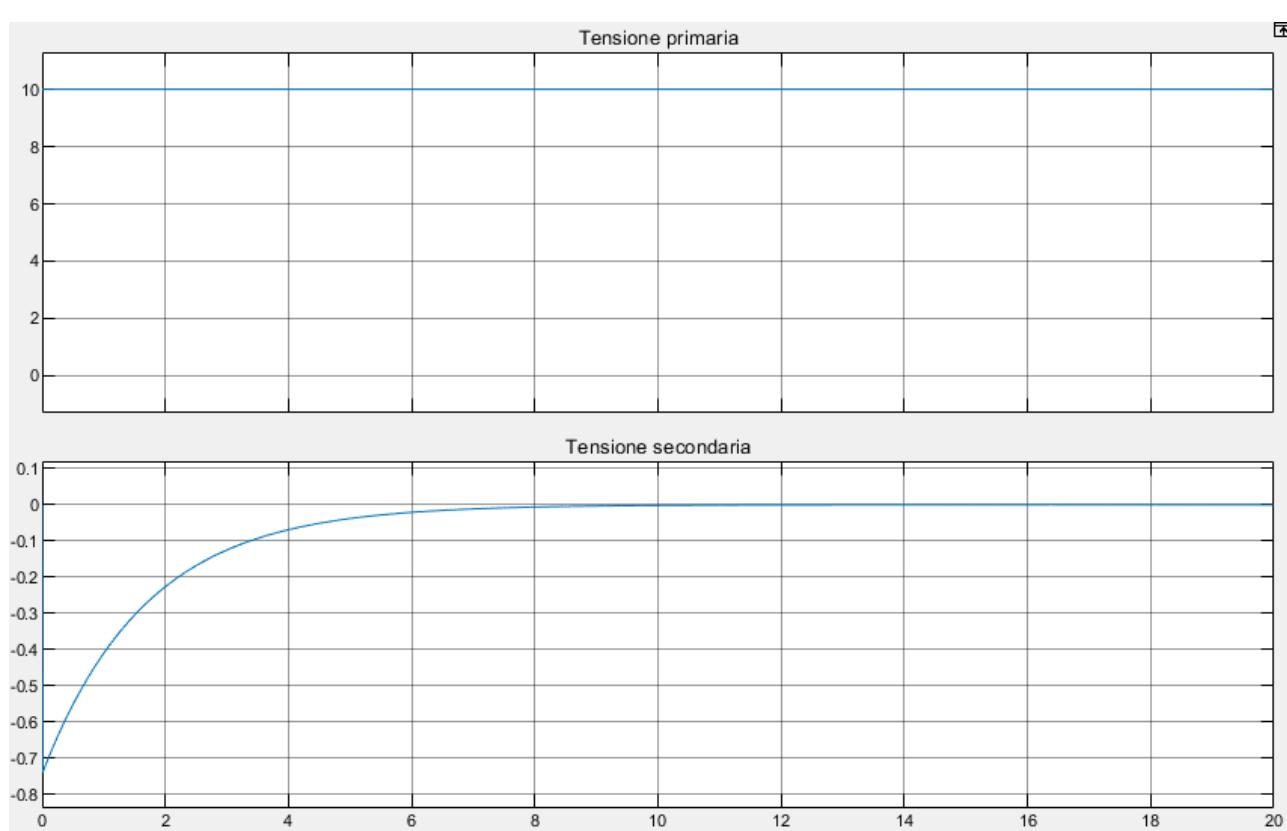


Figura 65 Grafici tensione costante nel primario

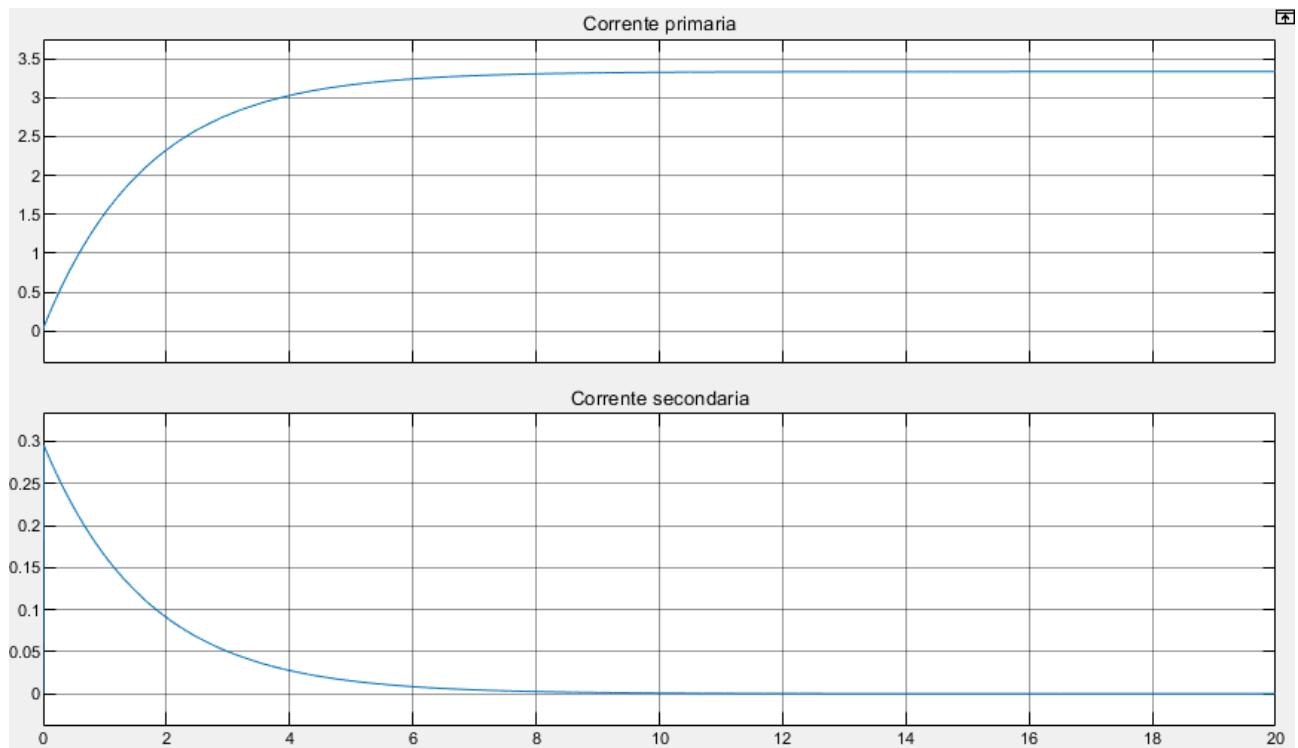


Figura 66 Grafici corrente costante nel primario

Dal grafico in **Figura 65** si vede che la tensione in ingresso è costante, ma la tensione in uscita ci mette un determinato tempo per arrivare ad un regime di 0V, anche in questo caso per effetto dell'induttanza, che produce comunque una forza elettromotrice indotta iniziale nel momento in cui la tensione in ingresso varia da 0 a 10V. A regime la corrente è continua e non c'è effetto di induzione elettromagnetica. Una situazione simile si ha per le correnti in **Figura 66** dove dopo un determinato tempo arriva ad un regime di circa 3.3 nel caso della corrente primaria, mentre per la secondaria da 0.3A tenderà a 0.



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Trasformatore → **trasformatore.mdl** e **s_trasformatore.m**

6 Rete idrica

6.1 Introduzione

Importante è la distribuzione della rete idrica nelle abitazioni ed è soprattutto importante come l'utenza consuma in certi orari e capire quali sono le scelte migliori per una rete idrica efficiente. Molto semplicemente, si fa uno schema su come può essere vista una distribuzione della rete idrica dalla falda acquifera ad una determinata abitazione (**Figura 67**).

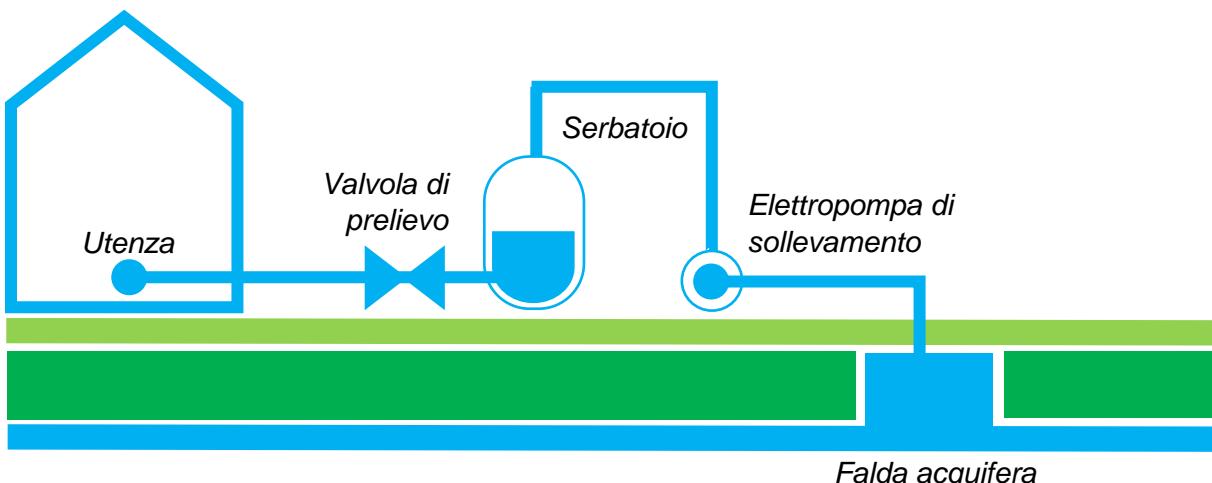


Figura 67 Semplice grafico di distribuzione acqua da falda acquifera

La rete dunque è composta da:

- Serbatoio a sezione costante;
- Un'elettropompa, utile per il prelevamento dell'acqua dalla falda acquifera al serbatoio;
- Una valvola di prelievo.

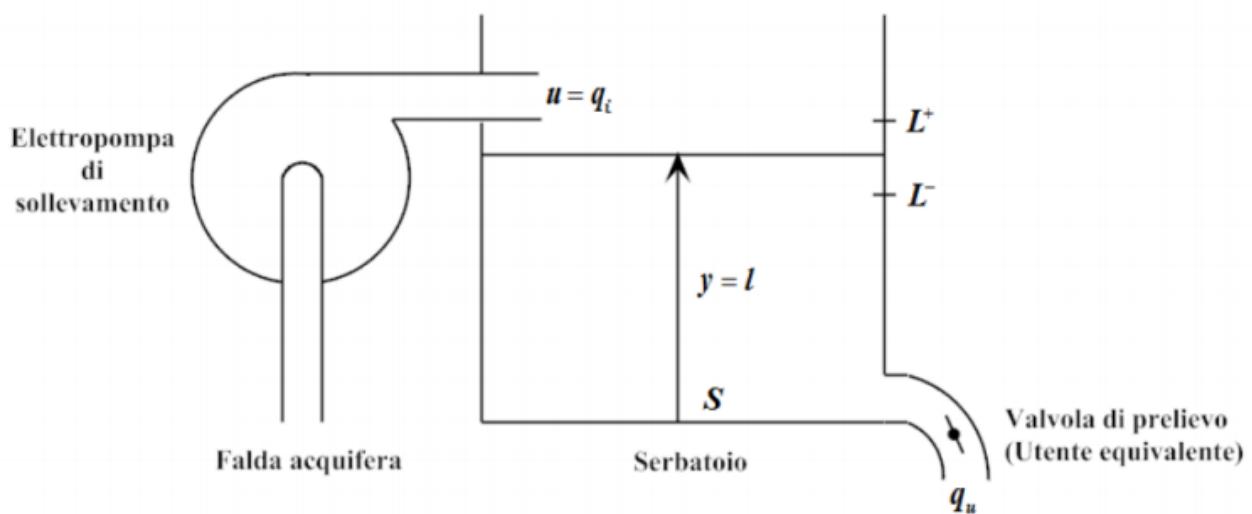


Figura 68 Schema elettropompa - serbatoio

Il sistema è molto semplice, viene prelevata l'acqua dalla falda acquifera attraverso l'elettropompa (è un dispositivo azionato da un motore elettrico che serve a spostare, a sollevare o a raccogliere materiali liquidi) che viene poi prelevata dal serbatoio per la distribuzione nell'abitazione attraverso

una valvola di prelievo che agisce in modo tale da avere il livello dell'acqua sempre compreso tra L^+ e L^- .

6.2 Individuazione parametri e modello matematico

I parametri che si vanno ad utilizzare sono:

Parametro	Significato
S	Sezione serbatoio
q_1	Portata d'ingresso
u_1	Portata d'ingresso
q_2	Portata d'uscita
u_2	Portata d'uscita
L	Livello dell'acqua

Il modello matematico

Sia

$$\frac{d(Sy)}{dt} = S\dot{y} = q_i - q_u \quad (39)$$

Se la portata in uscita q_u che può essere la perdita del serbatoio è proporzionale alla velocità di efflusso secondo la regola di Torricelli:

$$q_u = k\sqrt{y} \quad (40)$$

Ponendo $x = y$ si ha poi:

$$\dot{x} = -\frac{k}{S}\sqrt{x} + \frac{1}{S}u \quad (41)$$

Se invece $q_u = u_2$ e $q_i = u_1$ ed:

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (42)$$

Si ha:

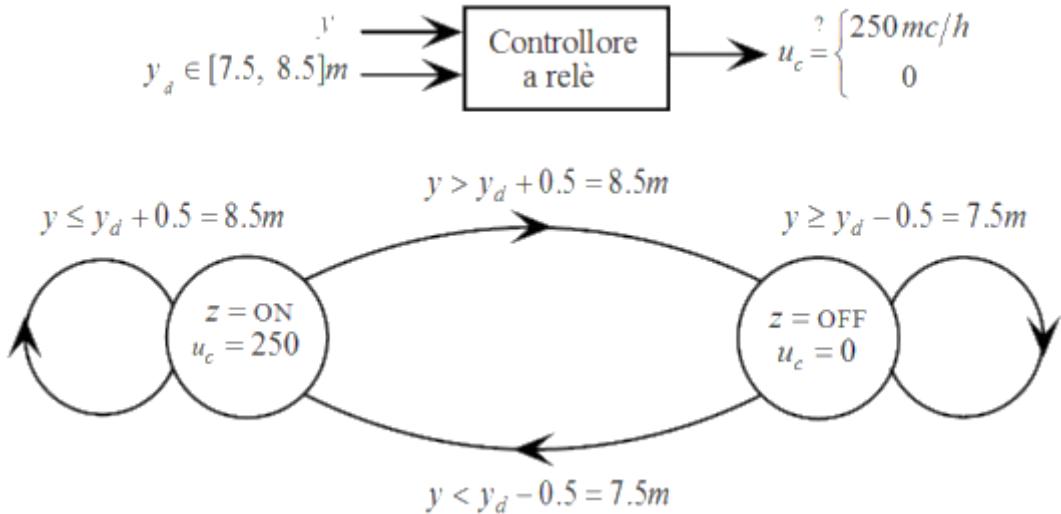
$$\begin{aligned} \dot{x} &= 0x + \left[\frac{1}{S} \ - \frac{1}{S} \right] u = Ax + Bu \quad \text{dove } A = 0 \text{ e } B = \frac{1}{S} \\ y &= 1x + 0u = Cx + Du \quad \text{dove } C = 1 \text{ e } D = 0 \end{aligned} \quad (43)$$

Il sistema è di tipo SISO poiché c'è la presenza di un ingresso ed un'uscita. È strettamente proprio o puramente dinamico ed è tempo continuo.

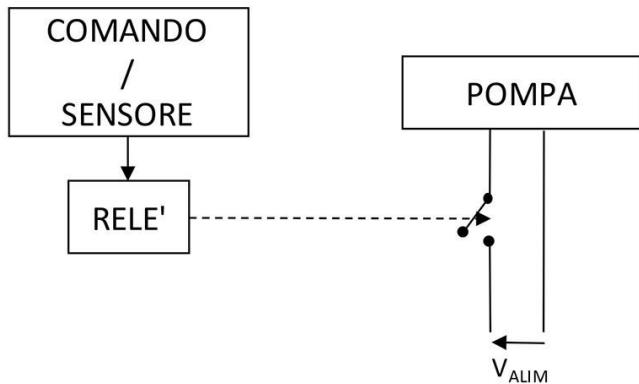
Il livello del serbatoio può essere controllato mediante una legge di controllo a ciclo chiuso utilizzando un controllore a relè con isteresi. Tali controllori, presentano due condizioni di funzionamento ovvero semplicemente ON e OFF. Possono essere visti come interruttori automatici di semplice realizzazione molto utilizzati in ambito domestico e industriale.



Figura 69 Relè di livello

**Figura 69** Funzionamento Relè di livello di un serbatoio

Il livello del serbatoio, nella (**Figura 69**) indicato con y , se è minore di y_D il relè passa nello stato ON, nel caso in esame, rimane nello stesso stato. Se y è maggiore di y_D il relè passa nello stato OFF e l'elettropompa si spegne. Un'altra possibile schematizzazione del funzionamento di livellamento del serbatoio è nella **Figura 70**.

**Figura 70** Funzionamento relè di livello di un serbatoio con sensore

6.3 Modello Simulink e simulazioni

Il sistema complessivo analizzato nei punti precedenti è possibile simularlo mediante il programma **cserbatoio.mdl** della libreria degli Autori.

Si vanno ad analizzare alcuni casi reali considerando dei serbatoi e elettropompe in commercio sul web, prelevando le specifiche necessarie per l'analisi considerando i consumi medi di acqua di una famiglia di 4 persone. Secondo infatti alcuni studi fatti sul web, il consumo medio giornaliero di acqua è pari a circa 220 litri a persone. Il calcolo per una famiglia a quattro elementi è presto fatto, ovvero 880 litri giornalieri (considerando alcuni tipici consumi che beneficia la famiglia: lavatrice, lavastoviglie, scarico, lavaggio piatti, doccia, uso rubinetto fino a considerare anche ad un rubinetto che perde).

Anche il calcolo dei m^3/h è possibile calcolarlo considerando opportune conversioni infatti: 880 litri al giorno \rightarrow 36.67 litri all'h e quindi \rightarrow 0.03667 m^3/h .

Faremo dunque sulla base di questi consumi una simulazione con elettropompa per uso domestico e un'altra con elettropompa per uso condominiale.

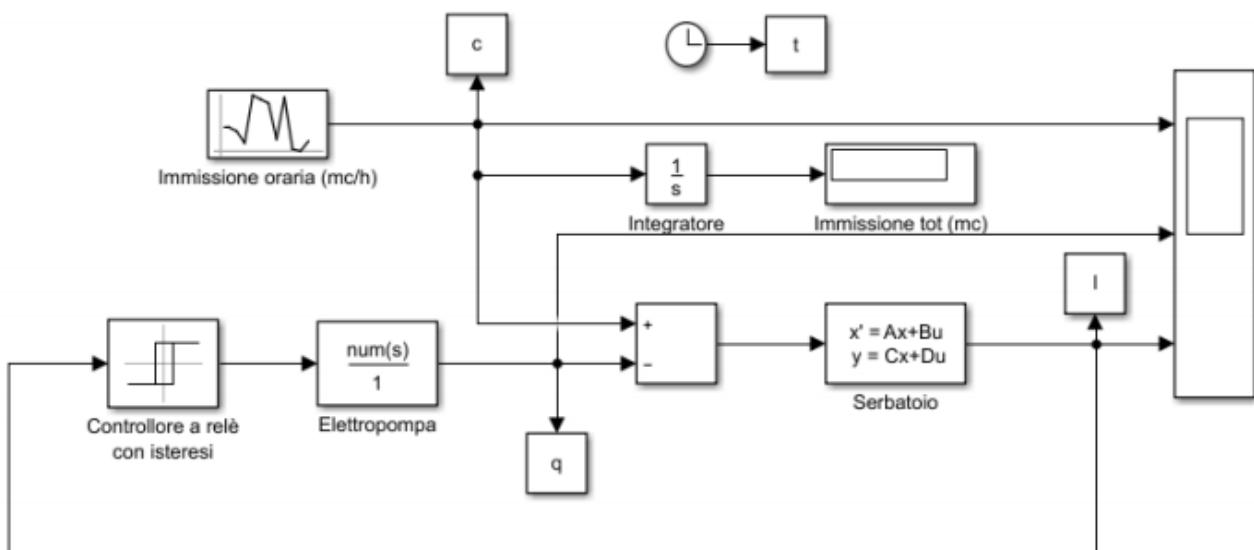


Figura 71 Modello Simulink di un serbatoio con controllore

6.3.1 Simulazione con elettropompa per uso domestico

Si considerano i seguenti prodotti considerando il consumo orario simulato da una distribuzione gaussiana di media $0.03667 \text{ m}^3/\text{h}$:



Figura 72 Elettropompa con capacità di pompaggio di $3.6 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figura 73 Serbatoio zincato da 500L con superficie di base di 1.1289 m^2 .

Livello dell'acqua desiderato che azionerà il relè di livellamento:

Parametro	Value
L^+	6.75 m
L^-	6.4 m

Si effettuano le opportune modifiche nel modello Simulink della **Figura 71**.



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Serbatoio → s1_cserbatoio.mdl

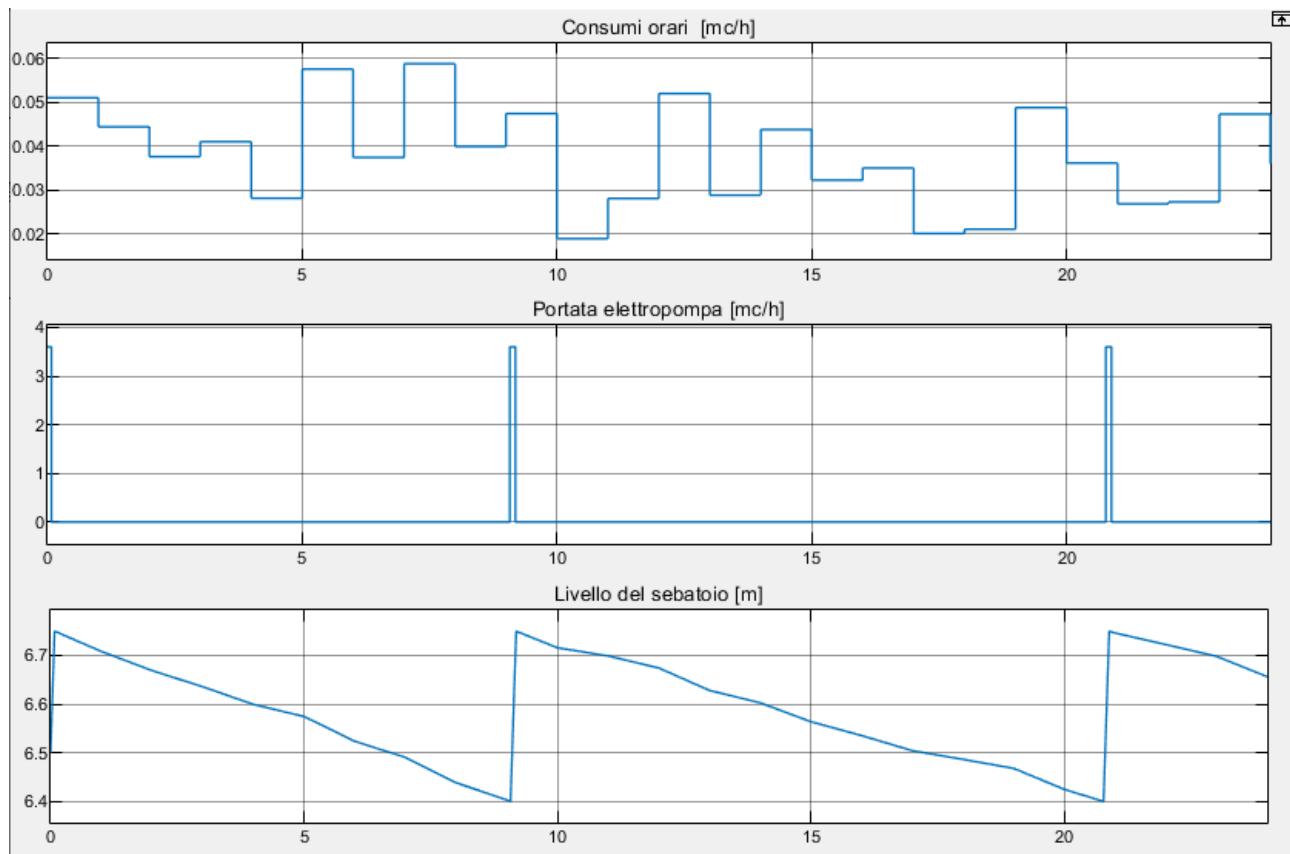


Figura 74 Simulazione con elettropompa da $3.6 \text{ m}^3/\text{h}$ uso domestico

In queste condizioni di funzionamento, l'elettropompa riesce a gestire in modo efficiente il livello dell'acqua all'interno del serbatoio attivandosi soltanto tre volte al giorno e prelevando l'acqua per circa 10 minuti. Infatti dalle 00.00 fino alle 9 il livello del serbatoio parte da 6.8 metri e scende fino a 6.4 per poi attivarsi e garantire il livello (**Figura 74**), stessa cosa intorno le 21 della sera.

6.3.2 Simulazione con elettropompa per uso condominiale

Si considera il caso di distribuzione idrica in un condominio di circa 20 famiglie, quindi il consumo orario simulato da una distribuzione gaussiana è di media $0.7334 \text{ m}^3/\text{h}$ usando i seguenti prodotti:



Figura 75 Elettropompa con capacità di pompaggio di $9 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figura 76 Serbatoio zincato da 500L con superficie di base di 1.1289 m^2

Livello dell'acqua desiderato che azionerà il relè di livellamento:

Parametro	Value
L^+	10 m
L^-	7 m

Si effettuano le opportune modifiche nel modello Simulink della **Figura 71**.

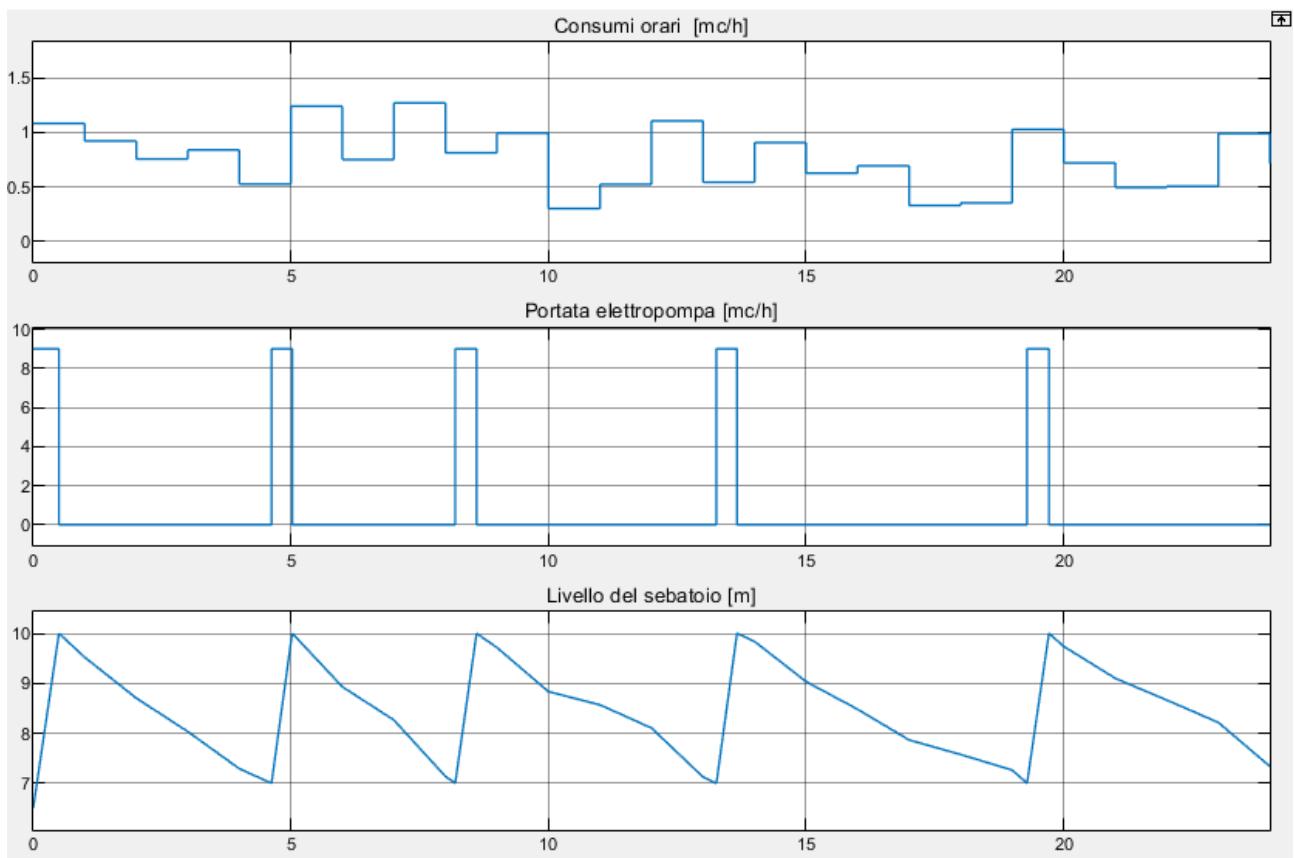


Figura 77 Simulazione con elettropompa da $9 \text{ m}^3/\text{h}$ uso condomiale

In queste condizioni di funzionamento, l'elettropompa riesce a gestire il livello dell'acqua all'interno del serbatoio attivandosi cinque volte al giorno e prelevando l'acqua per circa 30 minuti. Infatti dalle 00.00 fino alle 4.30 il livello del serbatoio parte da 10 metri e scende fino a 7 per poi attivarsi e

garantire il livello (**Figura 77**). L' alternarsi dell'attivazione dell'elettropompa varia anche in base al consumo elevato in determinari orari del giorno, infatti dalle 5 fino alle 10 (consumi orari elevati) l'elettropompa si è attivata due volte.



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Serbatoio → s2_cserbatoio.mdl

6.4 Conclusione

In definitiva, e come volevasi dimostrare, all'aumentare dell'utenza sia necessario aumentare la capacità di pompaggio dell'elettropompa per garantire il livello del serbatoio sempre tra i livelli desiderati sebbene scelti in base anche a diminuire l'attacco e stacco del relè e quindi un determinato consumo energetico.

7 Serratura di casa

7.1 Introduzione

La sicurezza della casa passa dalla porta blindata e dalla serratura sicura. Bisogna stare attenti a tutti i parametri, soprattutto se non ci troviamo in un condominio o in una villetta isolata. Le moderne serrature non sono più quelle di una volta, meccaniche con una chiave, ma sono ormai tutte digitali, spesso a combinazione, se non con metodi ancora più avanzati come la scansione del palmo, della retina o con l'uso di RFID o Bluetooth.

In particolare, le casseforti a combinazione digitale sono dotate di una rete logica interna, che è in grado di aprire la cassaforte nel momento in cui si digita, generalmente con un tastierino, una particolare sequenza di numeri (**Figura 78**).



Figura 78 Esempio di serratura a combinazione digitale di una porta di casa

7.2 Individuazione dei parametri e modello logico

È un sistema a stati finiti dove la rappresentazione viene effettuata attraverso un grafo orientato detto anche grafo di transizione evidenziando i vari passaggi da uno stato all'altro. Si individuano i seguenti parametri:

Parametro	Significato
x_i	Stato
u_i	Ingresso

ad ogni stato x_i si associa un vertice di un grafo orientato, rappresentato di solito mediante un cerchietto; se esiste almeno un simbolo d'ingresso u che porta il sistema dallo stato x_i allo stato x_j si traccia un arco orientato con vertice iniziale x_i e vertice finale x_j , e lo si contraddistingue con le coppie ingresso/uscita associate a tale transizione, come in **Figura 79**.

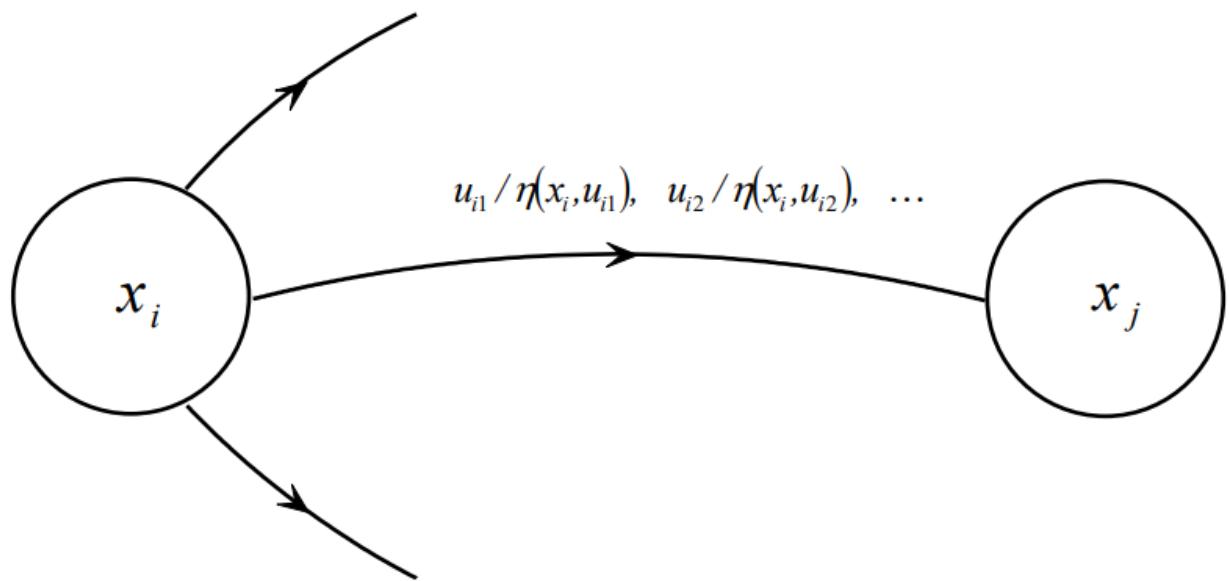


Figura 79 Particolare di un grafo di transizione

Considerando una serratura a combinazione la cui tastiera comprende i caratteri alfabetici A-B-C-O oppure i numeri 1-2-3-4. Nell'ipotesi che la chiave di apertura sia COCA = 3431 è facile verificare che essa si descrive mediante il grafico di transizione:

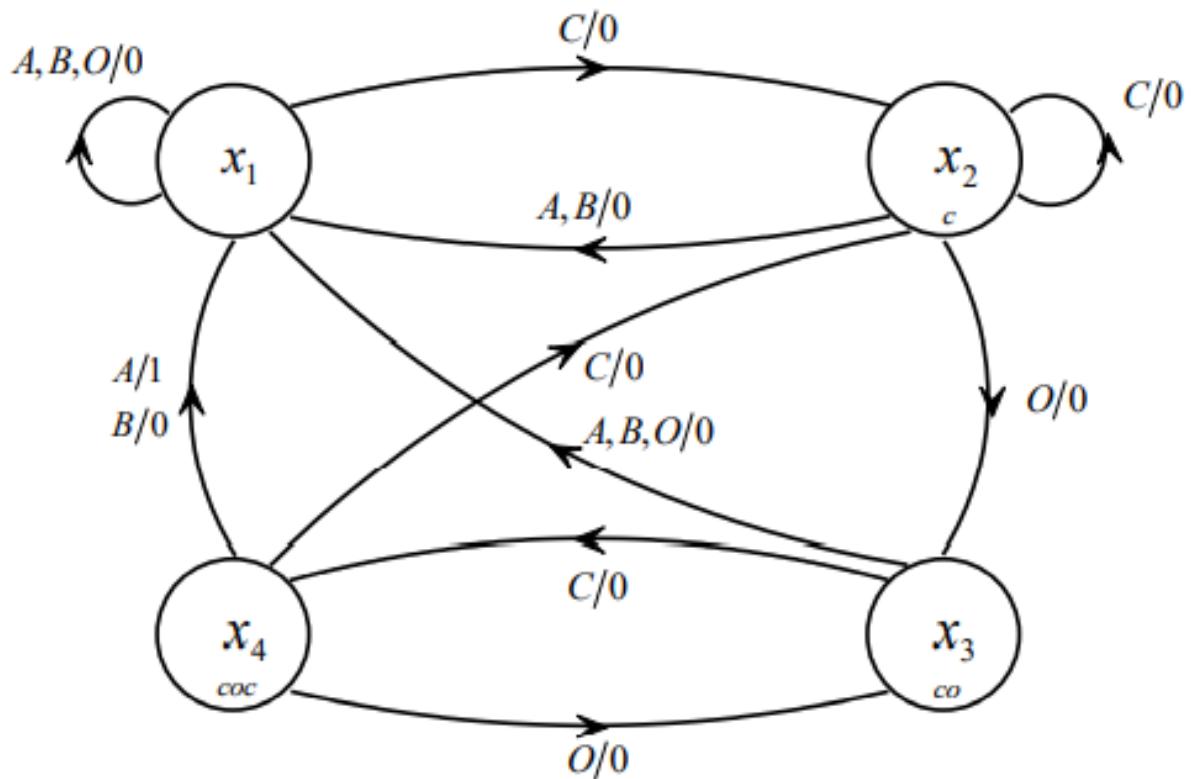


Figura 80 Serratura con "chiave" di apertura COCA=3431

Si ottengono dunque le tabelle dello stato prossimo:

X/u	$A=1$	$B=2$	$C=3$	$O=4$
$X_1 = 1$	1	1	2	1
$X_2 = 2$	1	1	2	3
$X_3 = 3$	1	1	4	1
$X_4 = 4$	1	1	2	3

Figura 81 Tabella stato prossimo

x/u	$A=1$	$B=2$	$C=3$	$O=4$
$x_1 = 1$	0	0	0	0
$x_2 = 2$	0	0	0	0
$x_3 = 3$	0	0	0	0
$x_4 = 4$	1	0	0	0

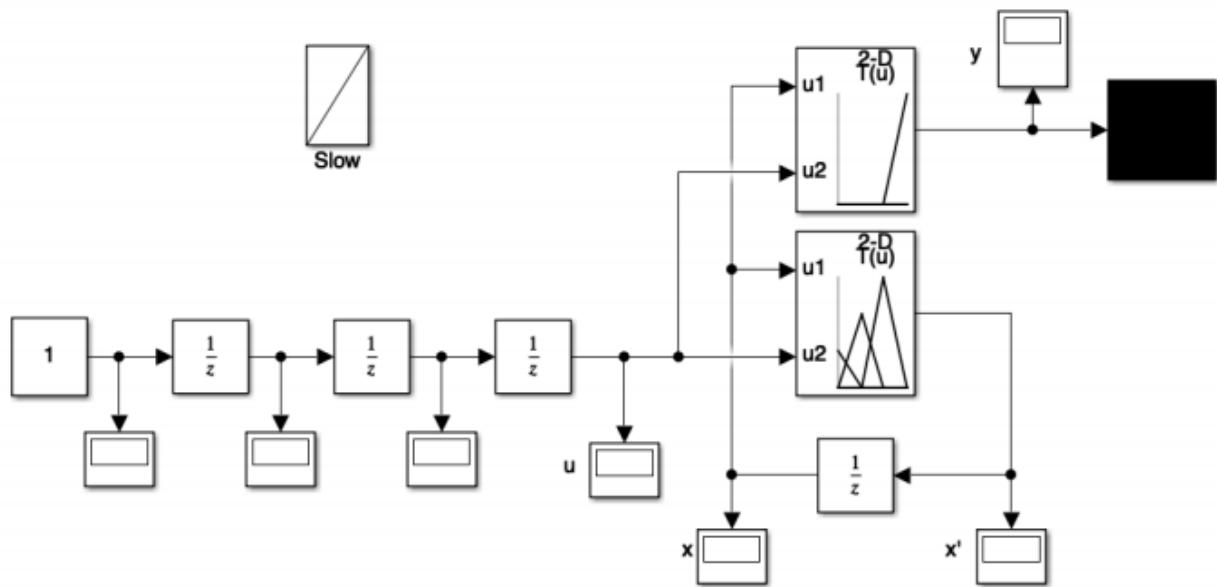
Figura 82 Tabella dell'uscita della serratura

7.3 Schema Simulink e simulazione

Nell'esempio precedente si è considerato (**serratura.mdl** degli Autori) una combinazione di 4 valori con range di valori 1,2,3,4.

Quindi le combinazioni massime che si possono fare con 4 cifre con base 4 (4^4) è 256 combinazioni. Numero vulnerabile con le tecnologie moderne di hacking.

Si è pensato dunque di migliorare la vulnerabilità di sbloccaggio aumentando il numero di range considerando infatti nella **Figura 78** un tastierino numerico (1,2,3,4,5,6,7,8,9) e dunque le possibili combinazioni massime sono 9^4 ovvero 6561 combinazioni.



G. e L. Celentano

Figura 83 Serratura con "chiave" di apertura COCA=3431 su Simulink

In questo modello la combinazione in ingresso è fornita con delle costanti numeriche; Questa procedura è stata realizzata ponendo in serie 4 differenti delay, con le relative condizioni iniziali: 3,4,3,1 (da sinistra verso destra). Il funzionamento interno verifica la correttezza della combinazione con l'utilizzo di una particolare funzione tabellare. Questa funzione ha due ingressi: u_1 che si riferisce alle righe e u_2 che invece si riferisce alle colonne, ed in uscita restituise il valore presente nella posizione della tabella (u_1, u_2). Nei display x e x' vengono mostrati rispettivamente lo stato corrente e lo stato successivo.

7.3.1 Simulazione con combinazione 2927

Seguendo il punto **7.2** si è realizzato il seguente grafo della nuova serratura a 9 cifre (**Figura 84**) e la tabella dello stato prossimo (**Figura 85**) e delle uscite (**Figura 86**)

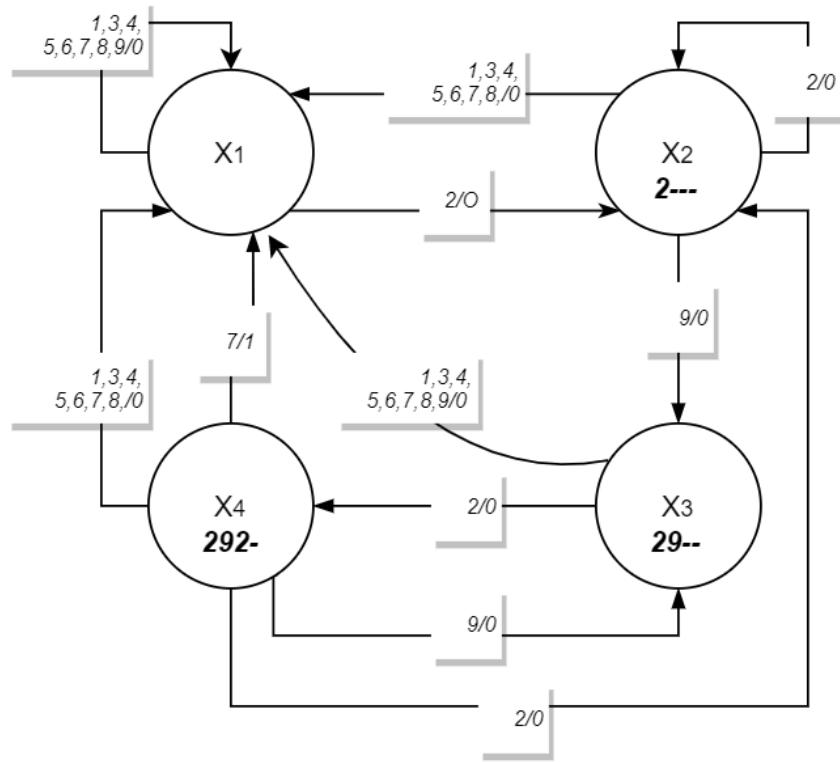


Figura 84 Grafo della nuova serratura

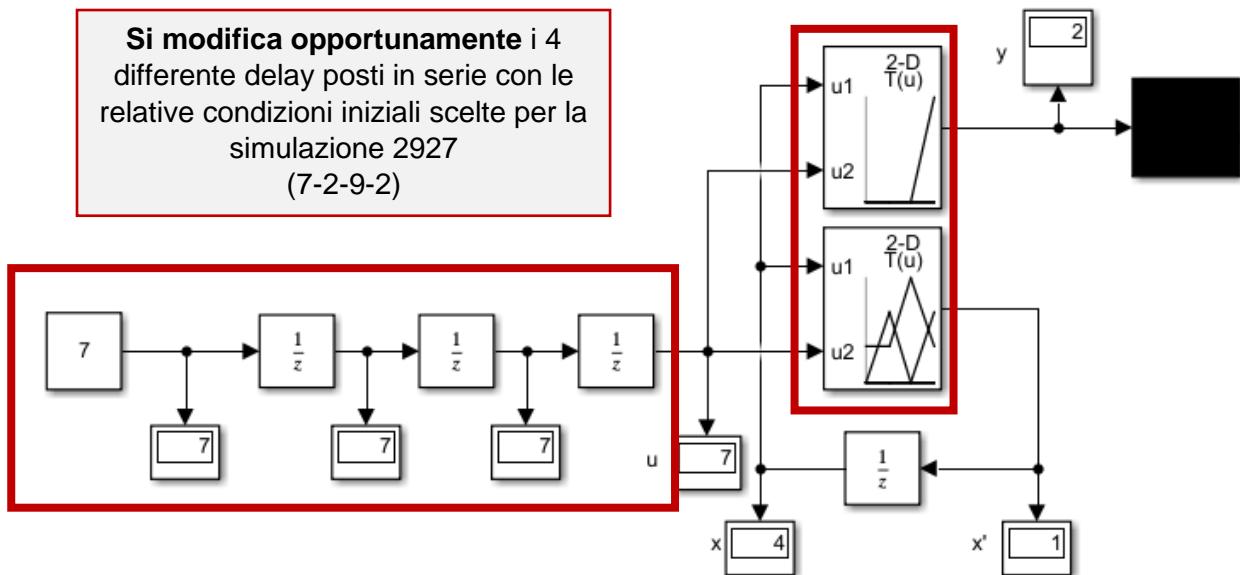
X/u	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X_1 = 1$	1	2	1	1	1	1	1	1	1
$X_2 = 2$	1	2	1	1	1	1	1	1	3
$X_3 = 3$	1	4	1	1	1	1	1	1	1
$X_4 = 4$	1	2	1	1	1	1	1	1	3

Figura 85 Tabella degli stati prossimi

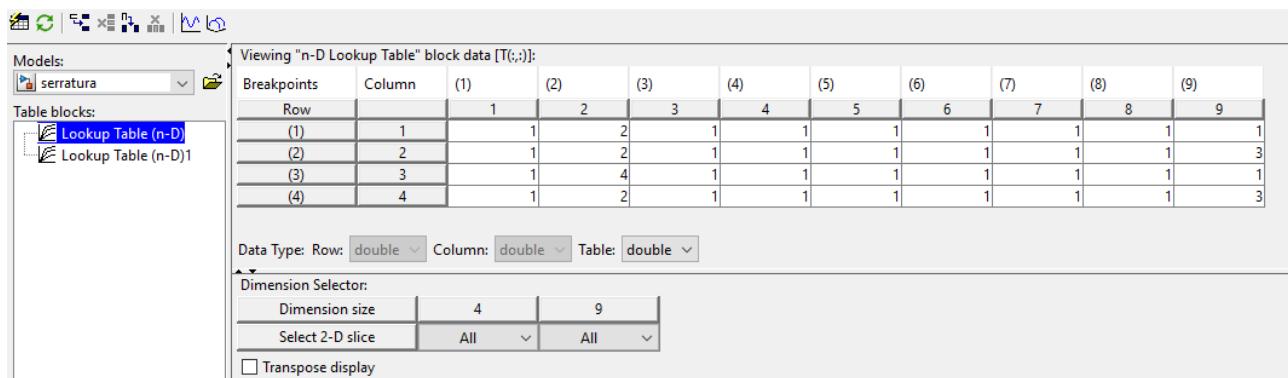
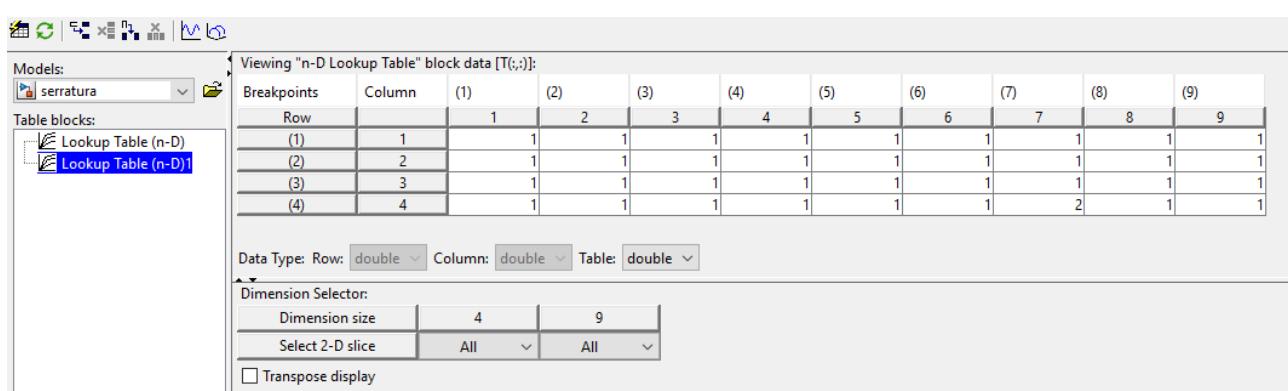
x/u	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_1 = 1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$x_2 = 2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$x_3 = 3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$x_4 = 4$	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Figura 86 Tabella delle uscite

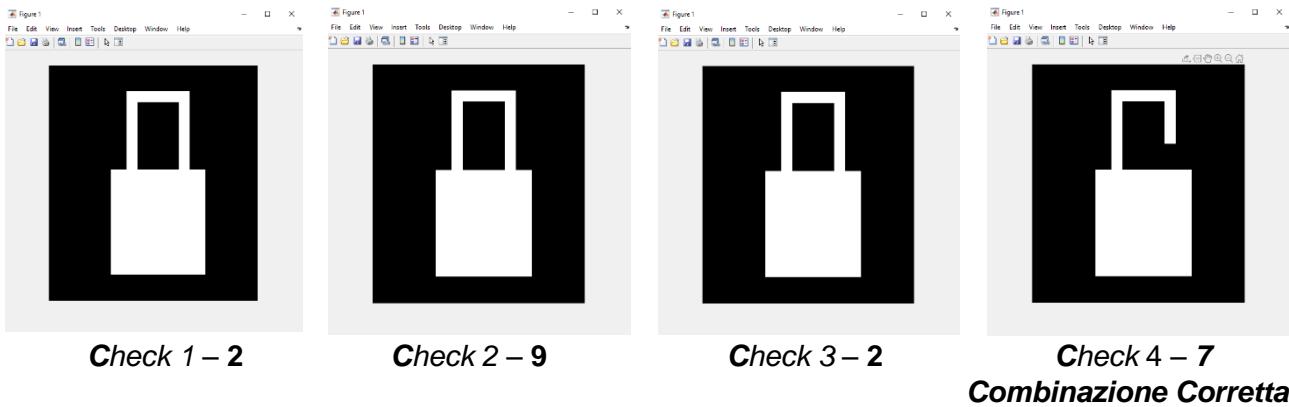
Il tutto poi modificato opportunamente su Simulink Matlab nel programma **serratura.mdl**.

**Figura 87** Simulink serratura.mdl modificato

Si modifica inoltre le due **Lookup table**, inserendo la tabella degli stati prossimi e le tabelle delle uscite.

**Figura 88** Simulink tabella degli stati prossimi**Figura 89** Simulink tabella delle uscite (ponendo 0 = 1 e 1 = 2)

Se la combinazione è corretta, compare un'immagine di un lucchetto aperto e viene riprodotto un suono digitale. L'immagine del lucchetto e il suono sono generati dalla funzione Matlab **fserratura.m** degli Autori.

**Figura 90** Sequenza check combinazione

È possibile provare il programma nella cartella allegata: Serratura → m_serratura.mdl

7.4 Conclusione e implementazione futura

Una possibile implementazione domotica della serratura è sicuramente la possibilità di essere collegata ad un'applicazione dove invece di utilizzare il tastierino numerico, si utilizza la tastiera dello smartphone e quindi poter aprire a distanza, tramite internet, ogni serratura installata.

Altro vantaggio della serratura domotica è la possibilità di essere collegata con altri dispositivi della casa collegati alla stessa rete e dunque nel caso in cui la serratura sia chiusa, **dopo 10 minuti il sistema spegne luci, condizionatore, tv ecc. della casa** e soprattutto attivare l'**antifurto** della casa (**prossimo capitolo**).

8 Antifurto

8.1 Introduzione

Il funzionamento di un antifurto per la casa, in genere, è pensato in modo semplice e intuitivo, per agevolare gli utilizzatori finali. La **centralina viene collegata ad una serie di componenti accessori**, tramite cavo (cablaggio) oppure con sistema wireless.

La centralina d'allarme (**Figura 91**) rappresenta il "cervello" dell'impianto di sicurezza, a questo dispositivo che si collegano tutti gli altri. **Controllabile anche tramite telecomandi e chiavi elettroniche**, la centralina **attiva o disattiva l'allarme** (interruttore di abilitazione), registrando anche eventuali problematiche tecniche.



Figura 91 Centralina d'allarme



Figura 92 Sensore di movimento con telecamera integrata (sx) e sensore di porta con supporto app (dx)

Ogni eventuale **intrusione viene rilevata dai sensori** (**Figura 92**). Sensori di movimento o rilevatori di movimento, basilari per il corretto funzionamento di un antifurto in casa. I movimenti di un corpo umano vengono rilevati e poi comunicati alla centralina, per avviare l'allarme.

In caso di rilevamento, oltre ad attivare la sirena d'allarme, la centralina invierà notifiche all'applicazione dedicata al sistema di allarme o attraverso cominatori telefonici inviare un messaggio pre-registrato a numeri predefiniti come il proprio recapito cellulare fino a quelle delle forze dell'ordine.

8.2 Individuazione dei parametri e modello logico

Per analizzare l'individuazione dei parametri e il modello logico, si prende un caso semplice che poi verrà sviluppato con un caso concreto nel punto successivo.

Consideriamo infatti un sistema con tre ingressi u_1, u_2, u_3 ed un'uscita y connessi come in **Figura 93**.

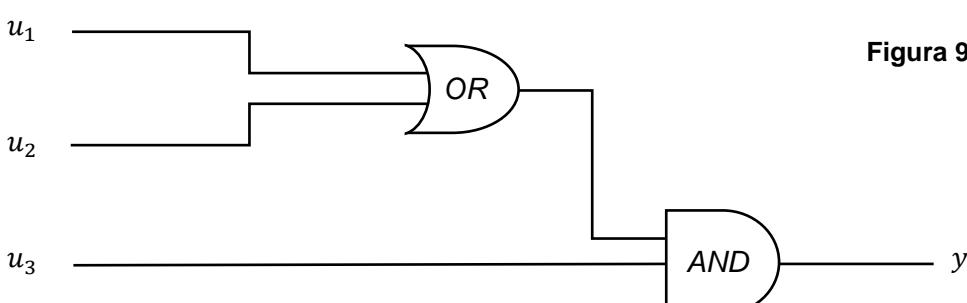


Figura 93 Grafo logico del sistema

u_1	u_2	u_3	y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

Figura 94 Tabella della verità

Il modello matematico che segue è ricavato attraverso il Teorema di algebrizzazione di una funzione booleana sviluppando la tabella della verità (**Figura 94**).

Si sommano tutti i mintermini con uscita = 1 nella (44)

$$y = \bar{u}_1 u_2 u_3 + u_1 \bar{u}_2 u_3 + u_1 u_2 u_3 \quad (44)$$

Semplificando la (44) con le proprietà dell'algebra di Boole

$$\begin{aligned} y &= u_3(\bar{u}_1 u_2 + u_1 \bar{u}_2 + u_1 u_2) \\ y &= u_3[u_2(\bar{u}_1 + u_1) + u_1 \bar{u}_2] \end{aligned} \quad (45)$$

Sapendo che $(\bar{u}_1 + u_1) = 1$ allora la (45) diventa

$$y = u_3[u_2 + u_1 \bar{u}_2] \quad (46)$$

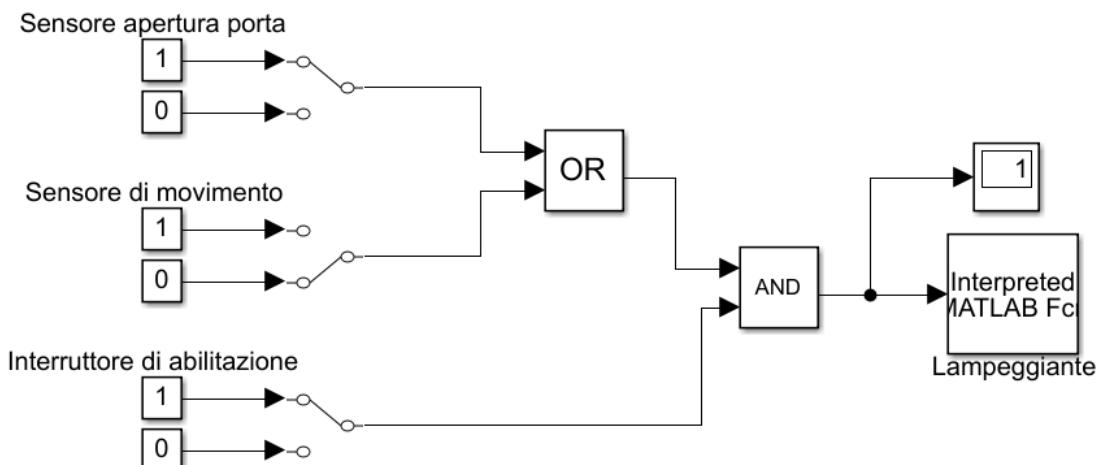
Applico il II Teorema dell'Assorbimento alla (46) e diventa

$$y = u_3[u_2 + u_1] \quad (47)$$

Come si vede dalla (47) rispetta proprio il grafico in **Figura 93**.

8.3 Modello Simulink Matlab e simulazione

Il modello simulink presentato dagli Autori è **antifurto.mdl**

**Figura 95** Simulink antifurto.mdl

Si considera dunque di implementare un sistema di antifurto all'interno di un appartamento da 4 stanze, corridoio e una porta di ingresso (**Figura 96**).

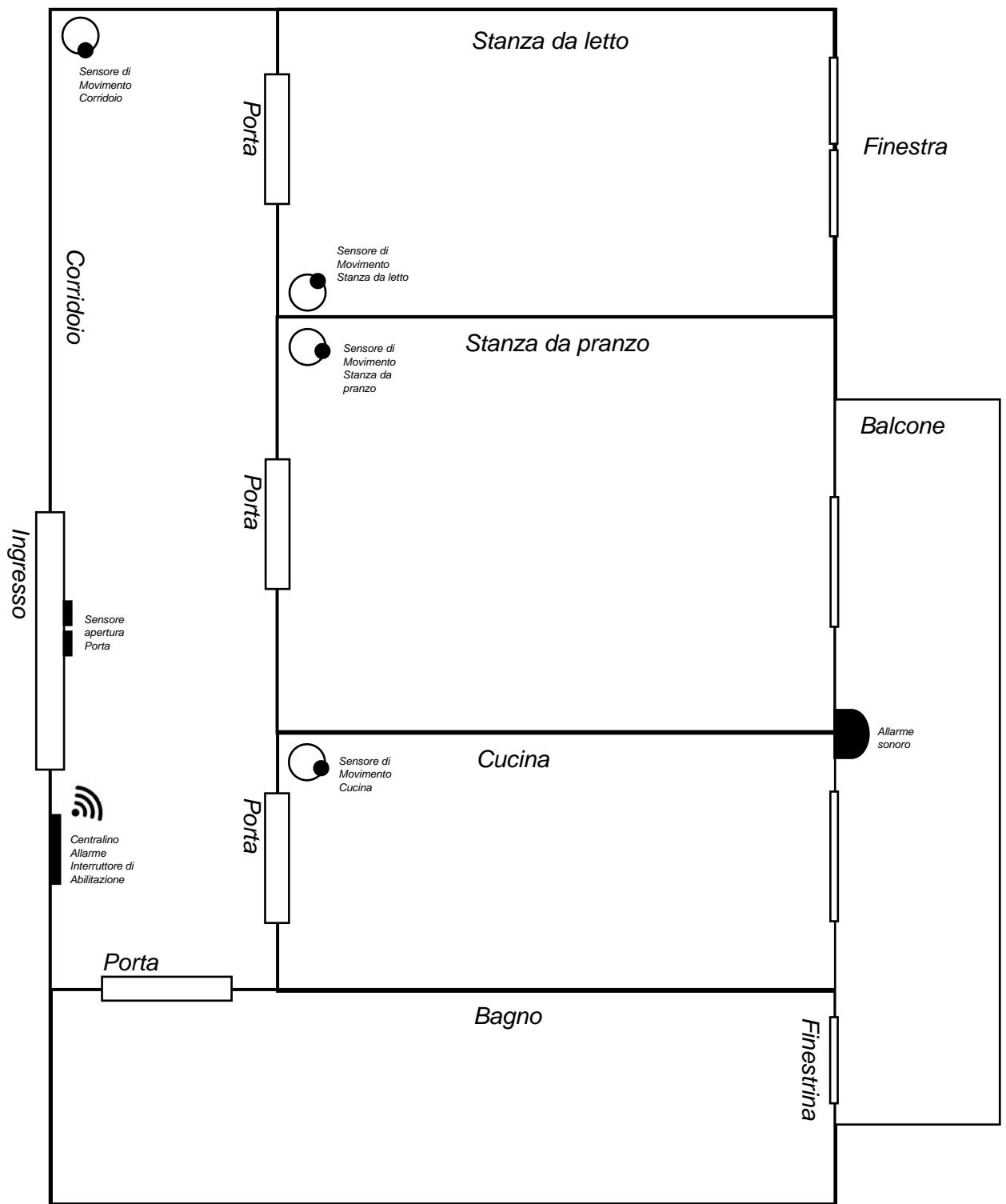


Figura 96 Pianta abitazione e implementazione sistema di antifurto

Una breve analisi va fatta sul posizionamento dei sensori nell'abitazione, pensati in posizioni tali da poter coprire e controllare tutta la stanza. Non è stato pensato il bagno poiché è una stanza in cui non vengono posti oggetti importanti e soprattutto se il ladro entra verrà segnalato in uscita dal bagno dal sensore di movimento del corridoio.

Dunque i parametri saranno:

Parametro	Value
u_1	Sensore di movimento stanza da letto
u_2	Sensore di movimento stanza da pranzo
u_3	Sensore di movimento cucina
u_4	Sensore di movimento corridoio
u_5	Sensore di porta
u_6	Interruttore di abilitazione
y	Uscita di rilevamento

Il grafico sarà:

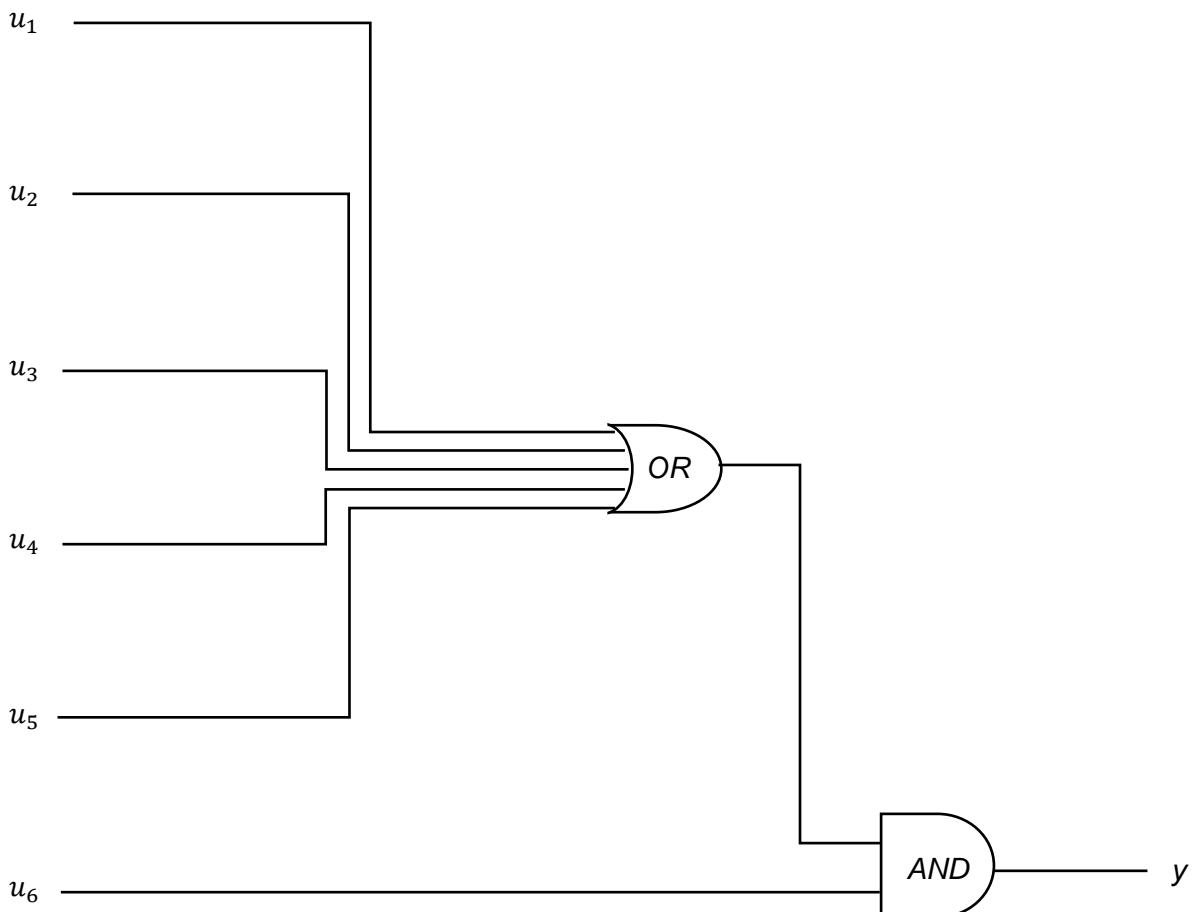


Figura 97 Grafico logico del sistema

Si è poi realizzata la tabella della verità verificando tutti i casi e le uscite (**Figura 98**)

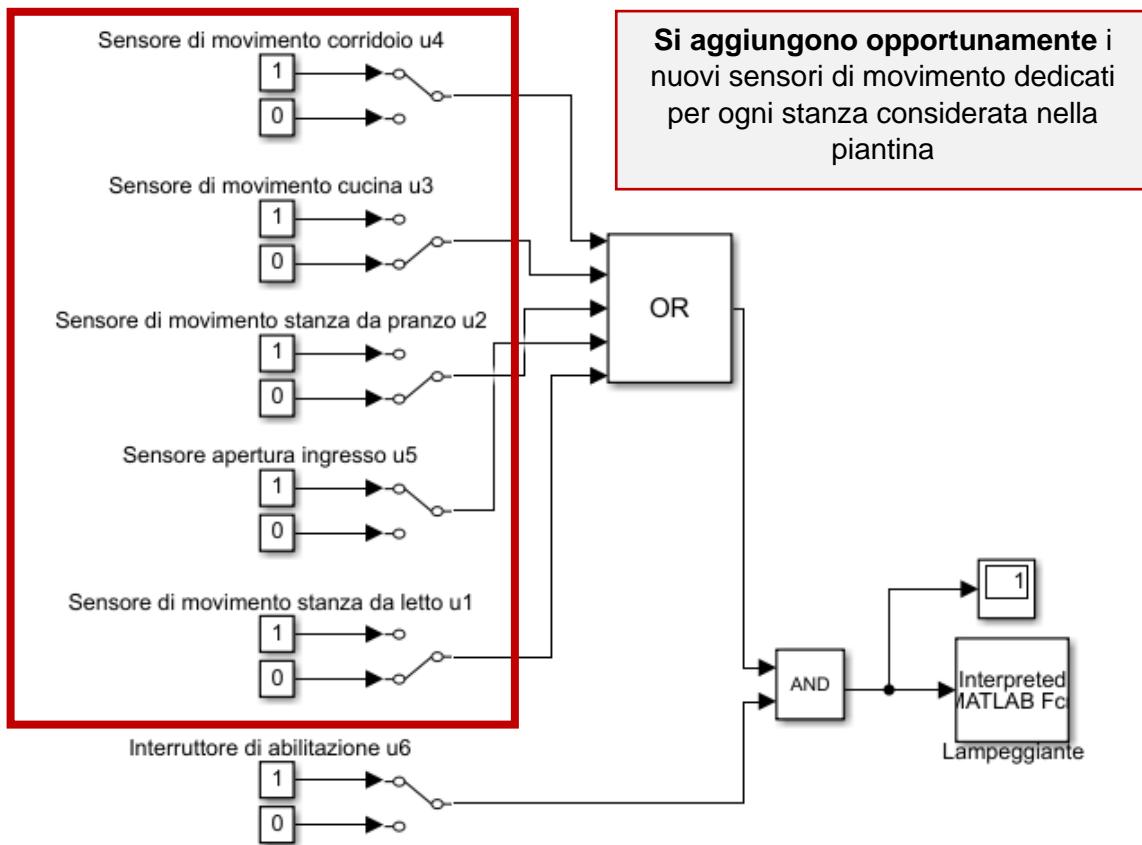
u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	y
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1
0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1	1
0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	1	1	1
0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	1	0	1	1
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	1
0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	1	1
0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1
0	1	1	0	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1
0	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1
1	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	1
1	0	1	0	1	0	0
1	0	1	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	1	0	0
1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1
1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1

Figura 98

Tabella di verità del sistema
a sei ingressi.

$$(u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5)^* u_6$$

La simulazione su Simulink considerando che il ladro sia entrato dalla porta d' ingresso, quindi si attivano i sensori di apertura ingresso e il sensore di movimento corridoio (**Figura 96 piantina appartamento**).



Modificato da Antonio Romano
G. e L. Celentano

Figura 99 Simulink con rilevamento antifurto

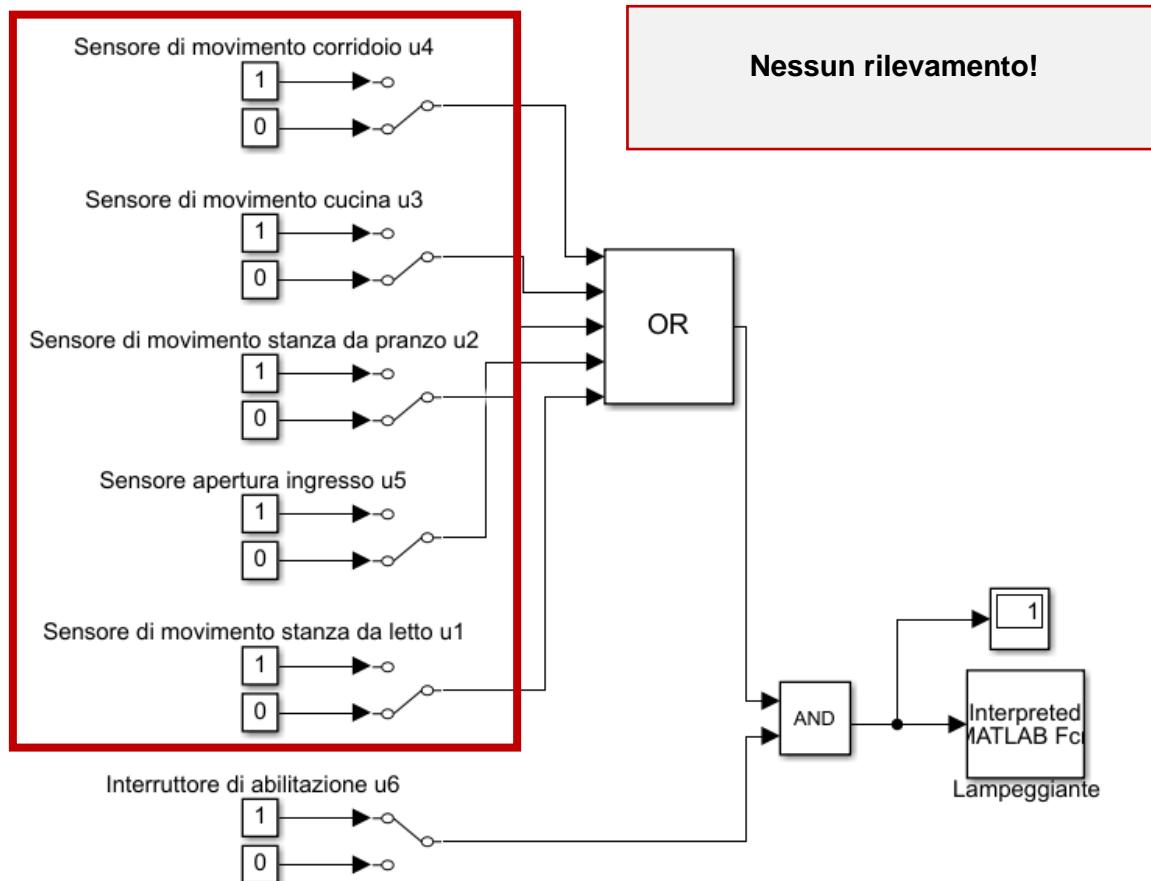
Il sistema dunque attiverà l'allarme. La simulazione segnalerà il movimento con la seguente immagine:

Da notare l'icona del telefono poiché il sistema integra la combinazione telefonica che si attiva quando c'è un rilevamento.



Figura 100
Attivazione allarme

In caso di non rilevamento:



Modificato da Antonio Romano
G. e L. Celentano

Figura 101 Simulink senza rilevamento antifurto

Il sistema non attiverà l'allarme.

I simulatore segnalerà il movimento con la seguente immagine:

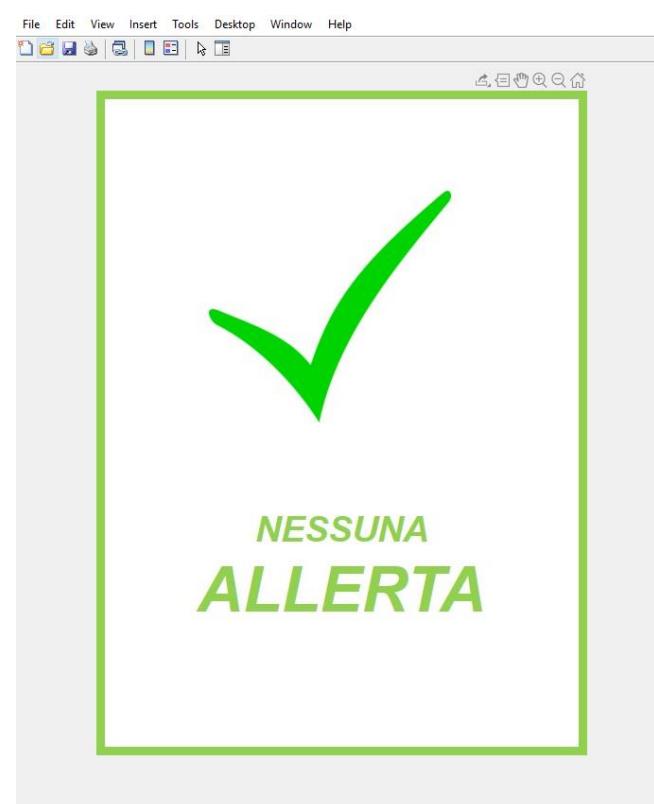
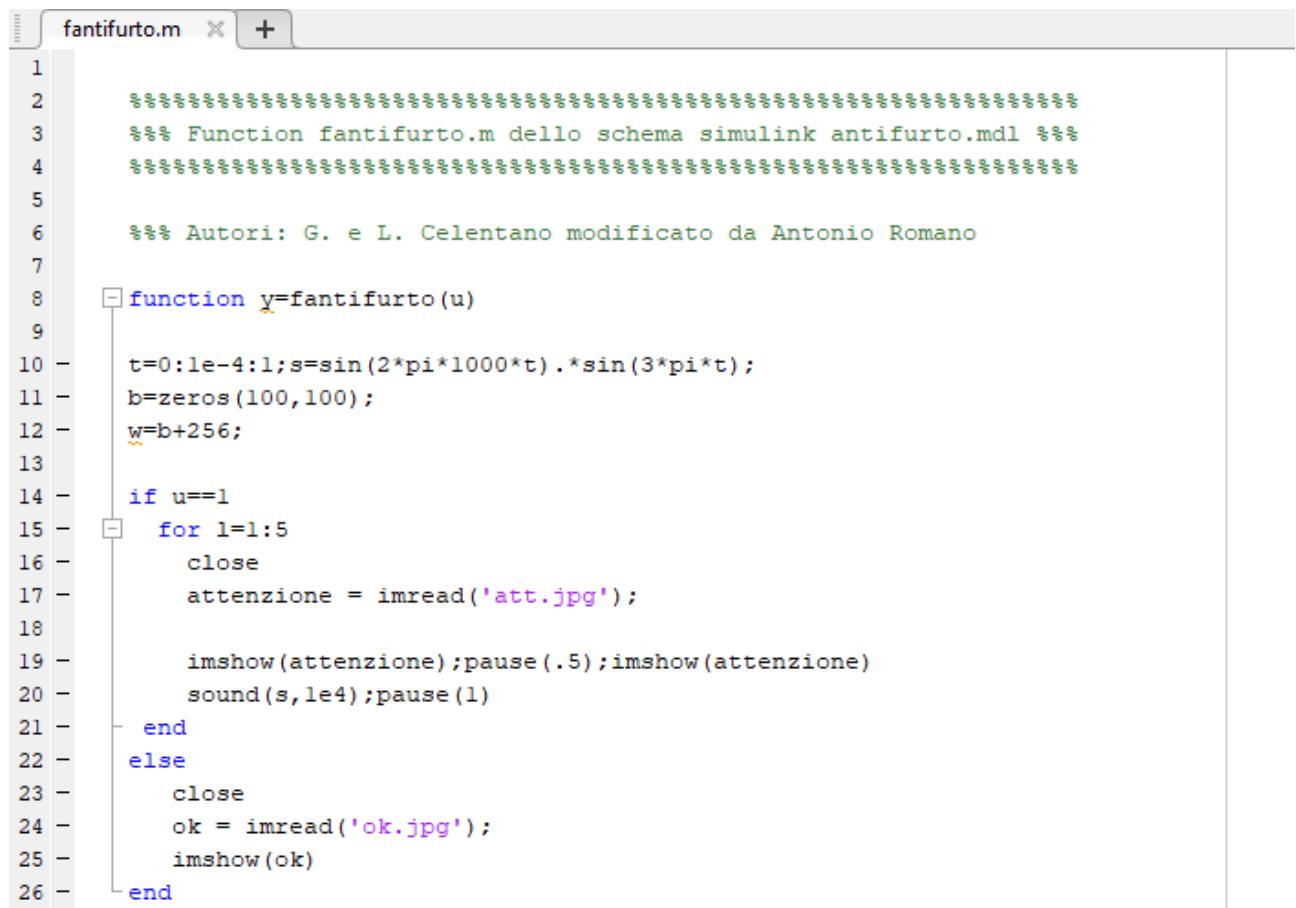


Figura 102
Allarme spento

Le immagini del simulatore sono state modificate nel programma di supporto del simulatore **fantifurto.m** degli Autori.



```

1
2      %%%%%%
3      %% Function fantifurto.m dello schema simulink antifurto.mdl %%
4      %%%%%%
5
6      %% Autori: G. e L. Celentano modificato da Antonio Romano
7
8      function y=fantifurto(u)
9
10     t=0:le-4:1;s=sin(2*pi*1000*t).*sin(3*pi*t);
11     b=zeros(100,100);
12     w=b+256;
13
14     if u==1
15         for l=1:5
16             close
17             attenzione = imread('att.jpg');
18
19             imshow(attenzione);pause(.5);imshow(attenzione)
20             sound(s,le4);pause(1)
21         end
22     else
23         close
24         ok = imread('ok.jpg');
25         imshow(ok)
26     end

```

Figura 103 Programma *fantifurto.m* modificato opportunamente



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Trasformatore → **m_antifurto.mdl** e **m_antifurto.m**

8.4 Conclusione e implementazione futura

In un'implementazione domotica di un'abitazione è possibili installare un sistema di antifurto che in rilevamento, oltre ad effettuare la chiamata ad un numero predefinito in maniera automatica, segnalerà tramite applicazione installata sullo smartphone dell'utente dell'appartamento il rilevamento, oppure è possibile controllare l'appartamento magari aggiungendo una videocamera di sorveglianza in determinate posizioni dell'appartamento.

9 Riscaldamento bilocale

9.1 Introduzione

Abitare in un bilocale significa doversi preoccupare di spazi ampi ma generalmente aperti, frequentemente con soffitti alti. Quindi difficili da riscaldare adeguatamente durante l'inverno soprattutto con i classici sistemi convettivi ad aria.

Tuttavia il bisogno di creare un isolamento termico dell'abitazione è un tema molto sentito ed è una necessità oggi imprescindibile. È infatti stato studiato che la temperatura media a cui dovrebbe trovarsi il corpo umano per evitare uno stato di sofferenza è compresa tra i 16 e i 25 °C. Tuttavia, poiché i locali da riscaldare possono avere le forme più varie, sorge il problema di progetto, ovvero quanti termostifoni installare, di che potenza e grandezza, in quali stanze è meglio metterne di un tipo piuttosto che di un altro, e soprattutto quanto verrebbe a costare accendere questo impianto. Supponiamo un **bilocale**:

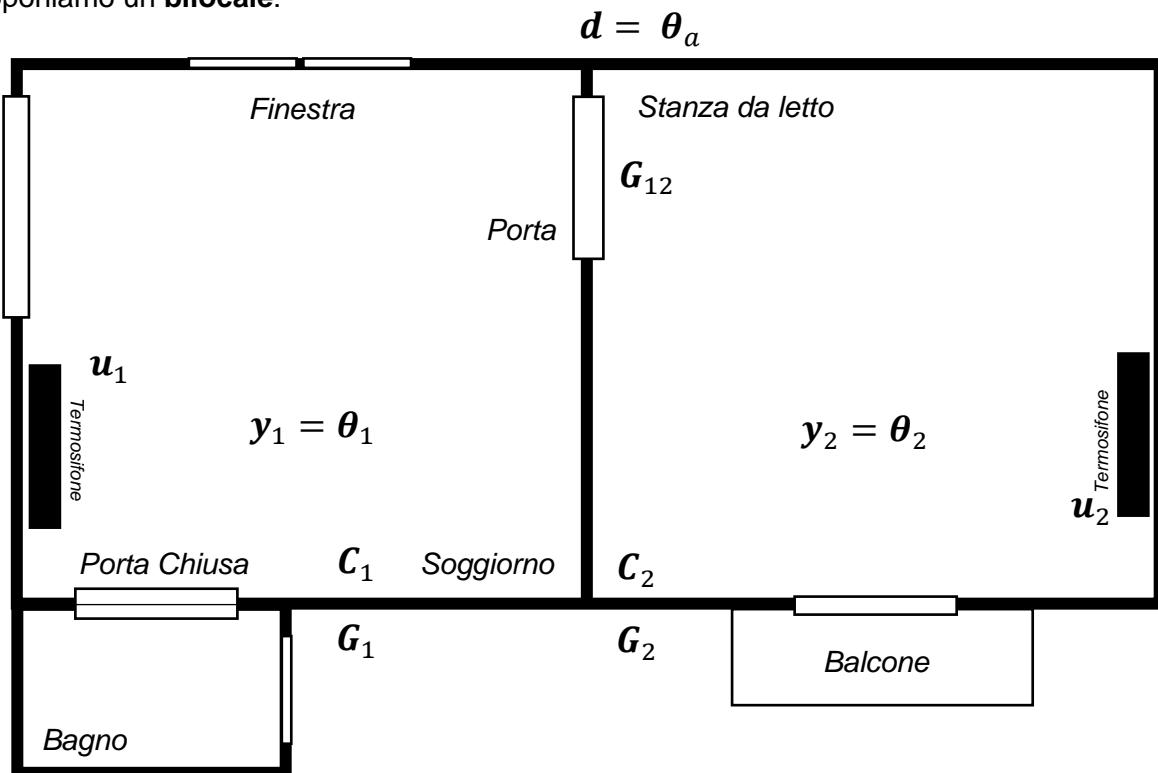


Figura 104 Pianta abitazione bilocale

9.2 Individuazione dei parametri e modello matematico

Siano i seguenti parametri:

Parametro	Significato
G_1	Conduttanza termica della parete soggiorno con l'esterno
G_2	Conduttanza termica della parete stanza da letto con l'esterno
G_{12}	Conduttanza termica tra il soggiorno e la stanza da letto
$y_1 = \theta_1$	Temperatura del soggiorno
$y_2 = \theta_2$	Temperatura della stanza da letto
$\theta_a = d$	Temperatura ambiente esterna

$u_1 = q_1$	Potenza termica somministrata dal termosifone del soggiorno
$u_2 = q_2$	Potenza termica somministrata dal termosifone della stanza da letto
C_1	Capacità termica del soggiorno
C_2	Capacità termica della stanza da letto

Con l'uso di questi parametri, applicando la legge di trasmissione del calore per conduzione, si ottengono le seguenti equazioni:

$$\begin{aligned} C_1 \dot{\theta}_1 + G_1(\theta_1 - d) + G_{12}(\theta_1 - \theta_2) &= u_1 \\ C_2 \dot{\theta}_2 + G_2(\theta_2 - d) + G_{12}(\theta_2 - \theta_1) &= u_2 \end{aligned} \quad (48)$$

Quindi:

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_1 &= -\frac{G_1 + G_{12}}{C_1} \theta_1 + \frac{G_{12}}{C_1} \theta_2 + \frac{G_1}{C_1} d + \frac{1}{C_1} u_1 \\ \dot{\theta}_2 &= -\frac{G_2 + G_{12}}{C_2} \theta_2 + \frac{G_{12}}{C_2} \theta_1 + \frac{G_2}{C_2} d + \frac{1}{C_2} u_2 \end{aligned} \quad (49)$$

Passiamo in forma matriciale:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -\frac{G_1 + G_{12}}{C_1} & \frac{G_{12}}{C_1} \\ \frac{G_{12}}{C_2} & -\frac{G_2 + G_{12}}{C_2} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \frac{G_1}{C_1} & \frac{1}{C_1} & 0 \\ \frac{G_2}{C_2} & 0 & \frac{1}{C_2} \end{bmatrix} u = Ax + Bu \quad (50)$$

$$y = x = Cx$$

Si nota come i valori lungo la diagonale principale della matrice A siano negativi.

Se così non fosse, il sistema risulterebbe instabile e, ad esempio, la temperatura nel bilocale potrebbe aumentare anche se il riscaldamento è spento, con una temperatura esterna più bassa di quella interna. Inoltre, poiché questo tipo di sistema di riscaldamento solitamente evolve molto lentamente nel tempo, può essere utile compiere le simulazioni in ore piuttosto che in secondi. Per fare questo, basta moltiplicare le matrici per 3600. La temperatura dell'ambiente esterno può essere approssimata tramite la relazione:

$$d = \frac{\theta_{min} + \theta_{max}}{2} - \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{2 \cos \left(\frac{\pi}{12(t-2)} \right)} \quad (51)$$

Con il tempo t misurato in ore.

Per il calcolo delle potenze termiche è necessario annullare le derivate poiché le temperature da raggiungere sono fisse.

La costante di tempo utile per stimare la durata del transitorio sarà:

$$\tau = \frac{1}{real(eig(A))} \quad (52)$$

real(eig(A)) è la funzione MATLAB per il calcolo della parte reale degli autovalori della matrice A.

9.3 Modello Simulink Matlab e simulazione

Si considera dunque un'abitazione come in **Figura 104** considerando due tipi di pareti con materiali termoisolanti differenti e due termosifoni di grandezza e potenza differente. La simulazione verrà fatta anche in base a una suddivisione di zone in Italia con media clima invernale divisa in nord, centro e sud (**Figura 105**).

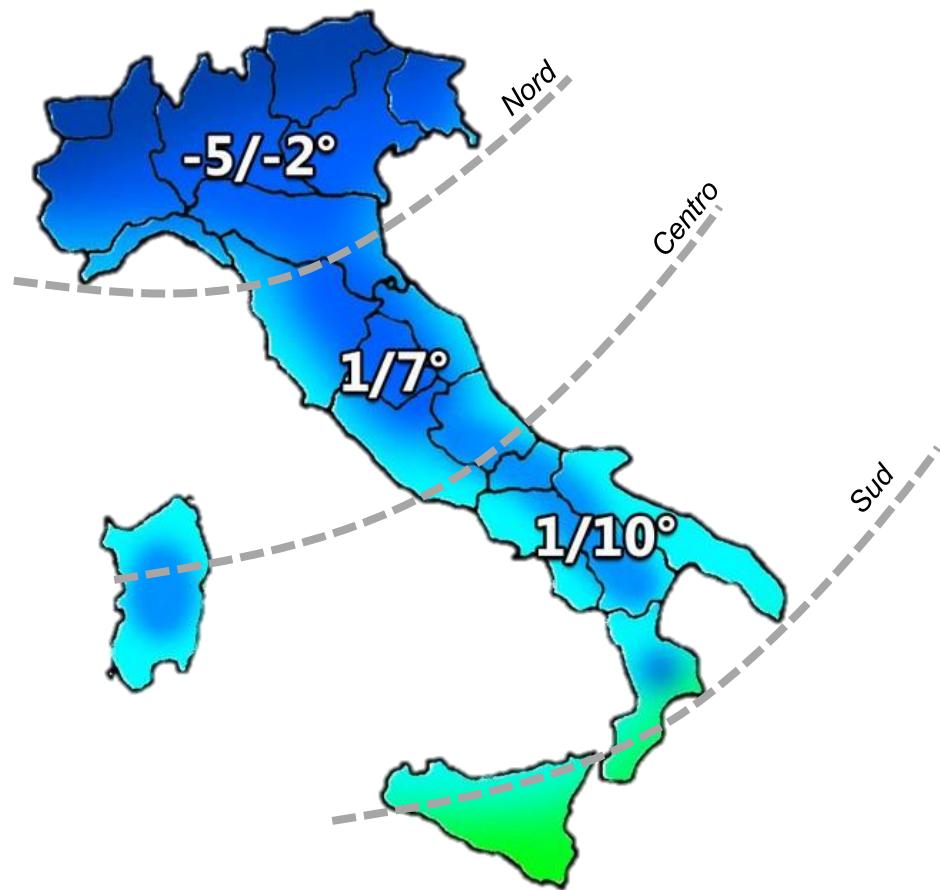


Figura 105 Zone media clima invernale in Italia

I materiali termoisolanti che verranno applicate alle pareti saranno:

- Lana di roccia: **ottima capacità di isolamento termico**, è anche un buon **materiale fonoassorbente**. La lana di roccia non assorbe né acqua né umidità, ed ha inoltre un **ottimo comportamento al fuoco**: non contribuisce né allo sviluppo né alla propagazione di incendi. Applicato nel soggiorno



Figura 106 Lana di roccia

- Poliuretano: permette di ottenere elevati livelli di isolamento termico con spessori significativamente ridotti rispetto a quelli necessari utilizzando altri materiali isolanti. Riesce a garantire un'abitazione calda in inverno e un'abitazione fresca in estate. Applicato nella stanza da letto.

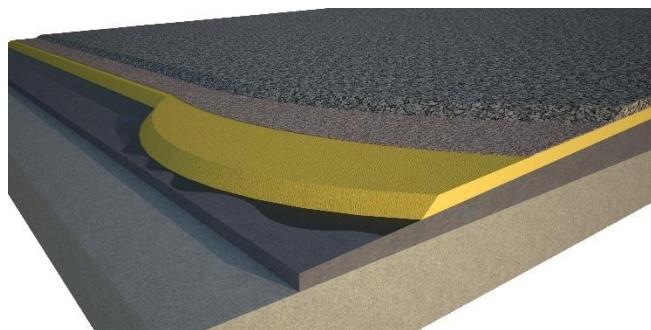


Figura 107 Poliuretano

I termosifoni che si andranno a considerare sono:



Figura 108 Termosifone da 1.6m x 0.3m con potenza da 841 W per il soggiorno



Figura 109 Termosifone da 1.78m x 0.59m con potenza da 2169 W per la stanza da letto

I parametri dunque saranno:

Parametro	Value
G_1	40 W/ $^{\circ}$ C
G_2	30 W/ $^{\circ}$ C
G_{12}	35 W/ $^{\circ}$ C
$u_1 = q_1$	841
$u_2 = q_2$	2169
C_1	1.03e5 J/ $^{\circ}$ C
C_2	1.26e5 J/ $^{\circ}$ C

```
risc_biloc_dim.m +  
1  
2 %%%%%%  
3 %% Dati e modello di un impianto di riscaldamento di %%%  
4 %% un villino bilocale %%%  
5 %% Dimensionamento dei condizionatori %%%  
6 %%%%%%  
7  
8 %% Autori: G. e L. Celentano  
9  
10 - clc, clear all, close all  
11  
12 % Dati  
13 - C1=1.03e5;  
14 - C2=1.26e5;  
15 - G1=40;  
16 - G2=30;  
17 - G12=35;  
18  
19 % Modello  
20 - A=[-(G1+G12)/C1 G12/C1; G12/C2 -(G2+G12)/C2];  
21 - B=[1/C1 0;0 1/C2];  
22 - E=[G1/C1;G2/C2];  
23 - C=eye(2);D=zeros(2,3);  
24  
25 % Dimensionamento dei radiatori  
26 % u=-inv(B)*[A E]*[y;d]  
27  
28 - disp('')  
29 - dm=-5,dp=-2  
30 - ym=[16; 16],yp=[24; 24],  
31 - pause
```

Figura 110 Modifica condizioni iniziali Matlab

9.3.1 Simulazione nel Nord Italia -5 T_{min} e -2 T_{max}

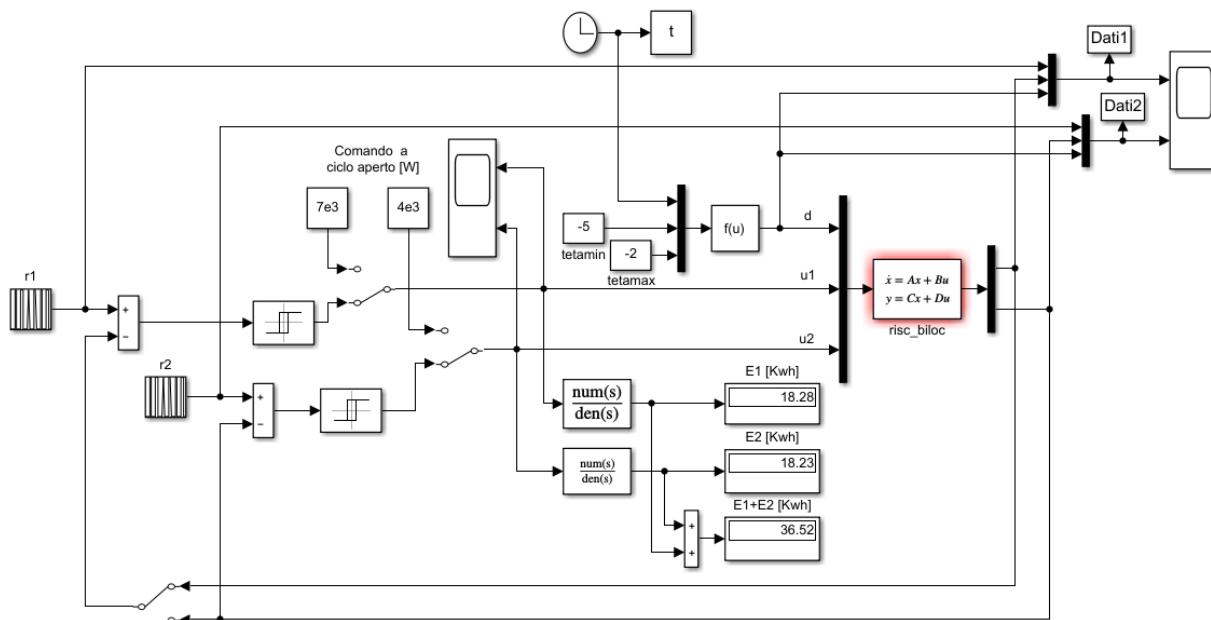


Figure 14.14 Modifying the environment around Italy's *Cinque Terre*.

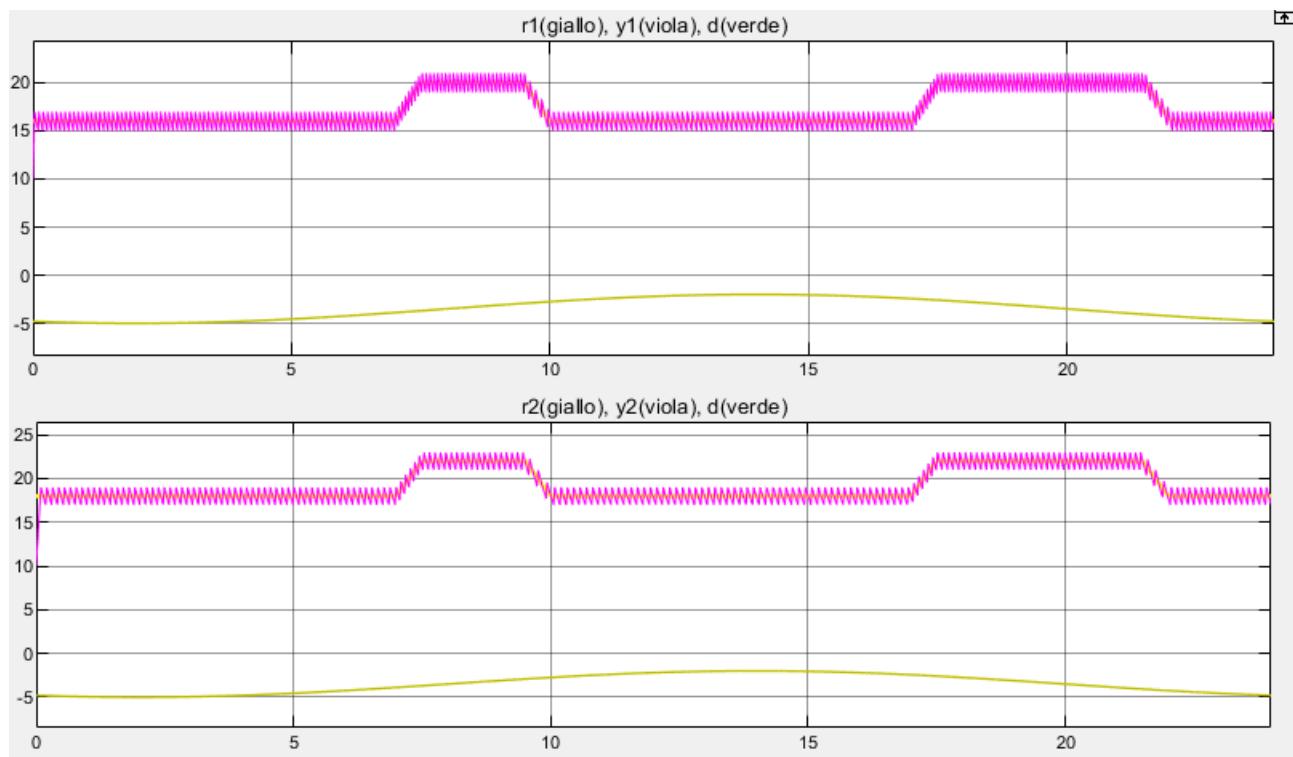
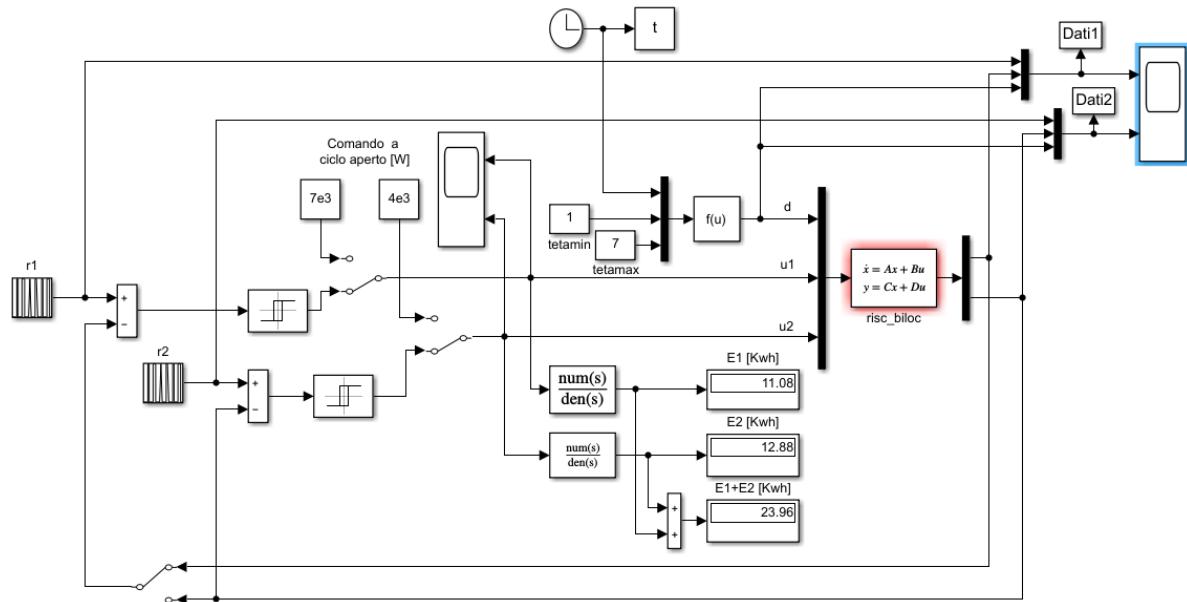


Figura 112 Simulazione temperature nord Italia

Si nota nella **Figura 112** che con queste configurazioni si riesce a rispettare la temperatura desiderata all'interno delle due stanze grazie al controllo a ciclo chiuso tramite un relè ad isteresi che lo accende e spegne tra ± 0.5 °C rispetto a quella desiderata. La differenza sta nel fatto che nel soggiorno la temperatura passa da 16°C a 20°C, un po' più bassa rispetto alla stanza da letto che è tra i 18°C ai 22°C.

Una differenza giusta visto che nel soggiorno l'affluenza della casa è maggiore e quindi entra in gioco anche il fattore calore del corpo dove più persone ci sono più c'è caldo. Il consumo totale dei termosifoni nelle 24 ore è 36.52 kWh e considerando i 0.117€/kWh (Costo energia elettrica 2020) il costo giornaliero è circa 4.27€.

9.3.2 Simulazione nel centro Italia 1 T_{\min} e 7 T_{\max}



Proff. G. e L. Celentano

Figura 113 Modifica temperature centro Italia su Simulink

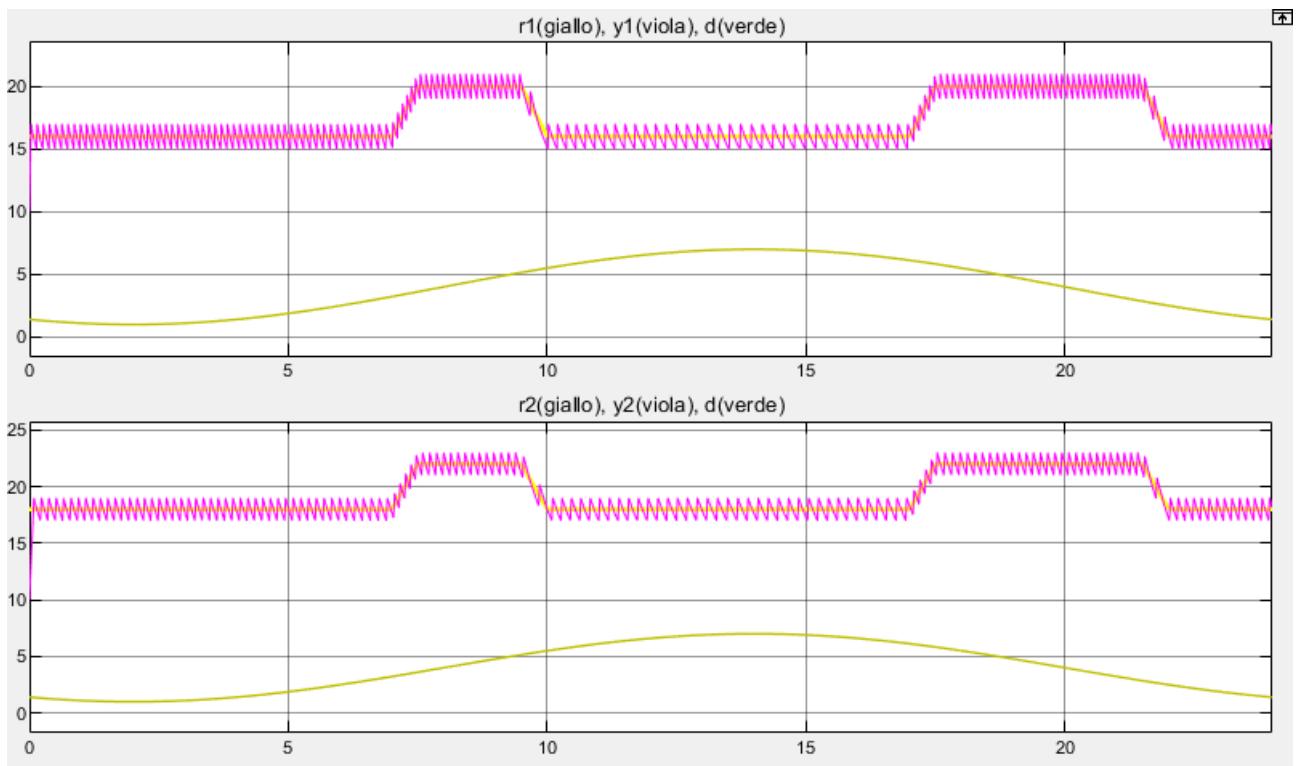
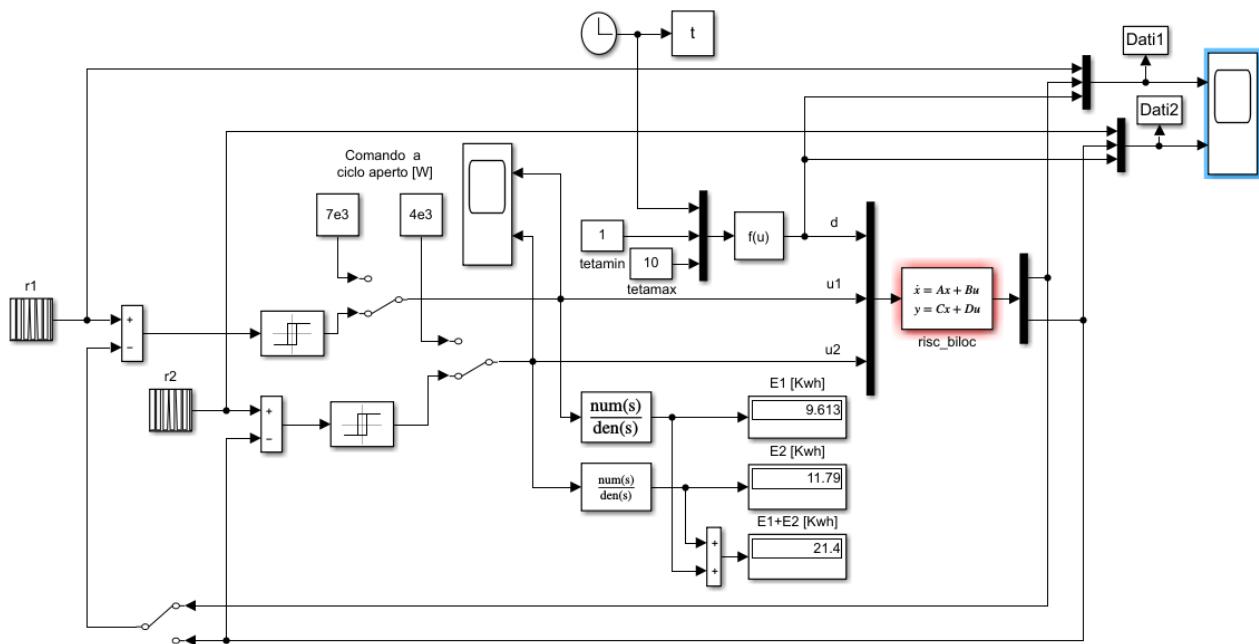


Figura 114 Simulazione temperature centro Italia

Se l'abitazione fosse ubicata a centro Italia, non ci sono molte differenze rispetto al nord se non una diminuzione di diminuzione delle oscillazioni che si ha tra le temperature desiderate della stanza da letto e nel soggiorno. Si vede inoltre, nella **Figura 113** che il consumo giornaliero scende a 23.96 kWh, e facendo il calcolo in euro sono circa 2.80€ al giorno.

9.3.3 Simulazione nel sud Italia 1 T_{min} e 10 T_{max}



Proff. G. e L. Celentano

Figura 115 Modifica temperature sud Italia su Simulink

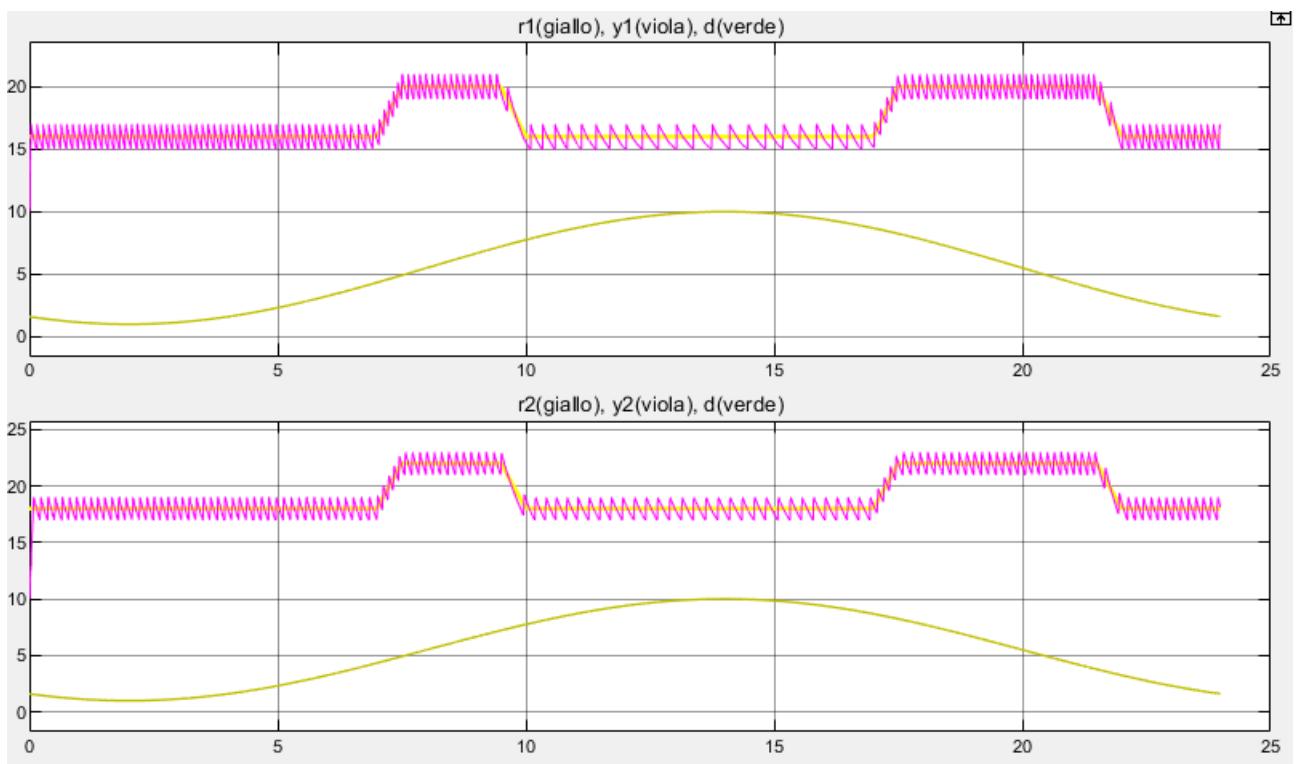


Figura 116 Simulazione temperature sud Italia

Anche nel sud Italia si hanno le temperature desiderate grazie sempre al relè ad isteresi, ma a differenza dell'abitazione ubicata a centro Italia, si avrà un ulteriore diminuzione di accensione e spegnimento dei termosifoni tra le 10 del mattino e le 17 circa del pomeriggio. Il consumo è ulteriormente sceso, infatti dalla **Figura 115** si evince che il consumo giornaliero totale è circa 21.4 kWh e quindi in euro 2,50€, una differenza di 0.30€ rispetto al centro Italia e di 1.77€ rispetto al nord Italia.



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Trasformatore → m_risc_biloc.mdl e m_risc_biloc_dim.m

9.4 Conclusione e implementazione futura

Quindi vivere nel sud Italia ne beneficia i costi e consumi rispetto al Nord Italia, infatti più si scende dal nord e più si risparmia oltre ad avere un clima sicuramente più favorevole. Nelle seguenti simulazioni non è stato considerato il bagno poiché si è supporto con la porta chiusa.

Una possibile implementazione domotica è il controllo della temperatura di casa attraverso un'applicazione. Infatti grazie al programma analizzato è possibile indicare all'utente in tempo reale l'andamento della temperatura della casa in tempo reale oppure una previsione con un possibile matching con la temperatura esterna, che nel caso reale, saranno indicati dai server meteorologici dedicati.

10 Frigorifero

10.1 Introduzione

Conosciamo benissimo l'uso di un frigorifero, ovvero, un elettrodomestico capace di produrre e mantenere una temperatura sufficientemente bassa per la conservazione di alimenti. Conservazione di alimenti che ha bisogno sempre di una determinata temperatura ed è bene che un frigorifero debba avere sempre la temperatura adatta per gli alimenti. Oltre tutto il frigo non aspira aria fredda dall'esterno, ma sottrae calore agli alimenti conservati al suo interno e lo espelle.

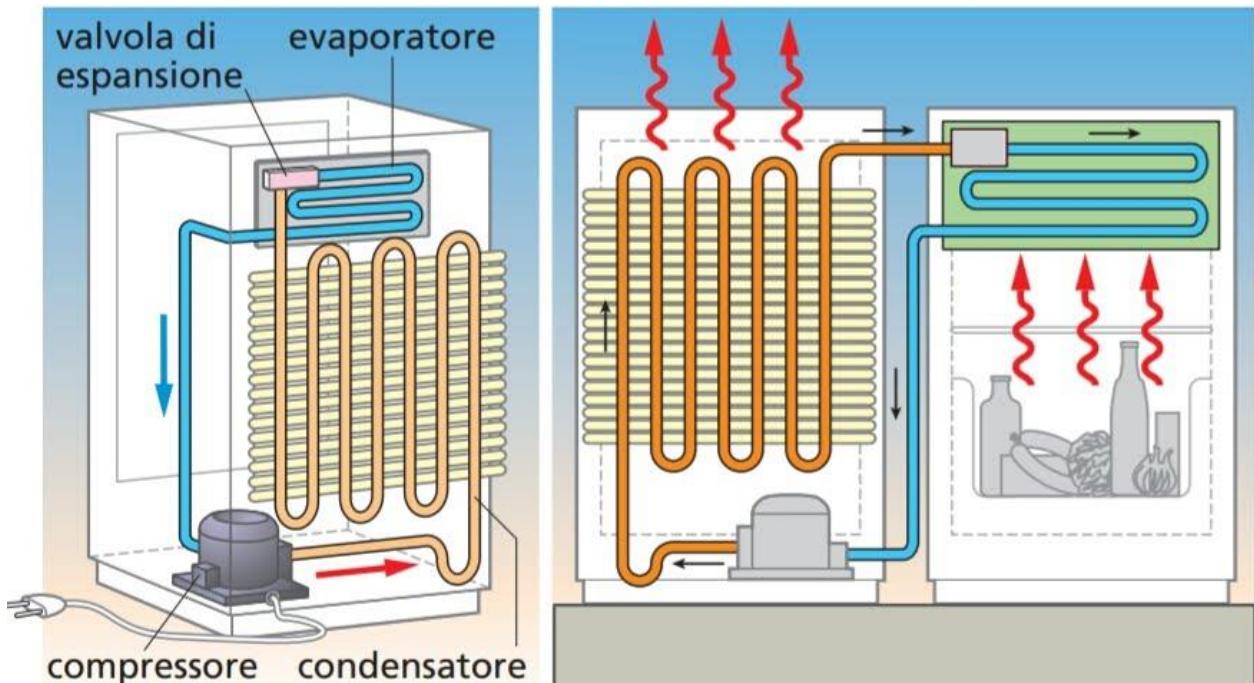


Figura 117 Componenti di un frigorifero

Si andrà dunque ad analizzare determinati componenti di un frigorifero schematizzati nella **Figura 118**

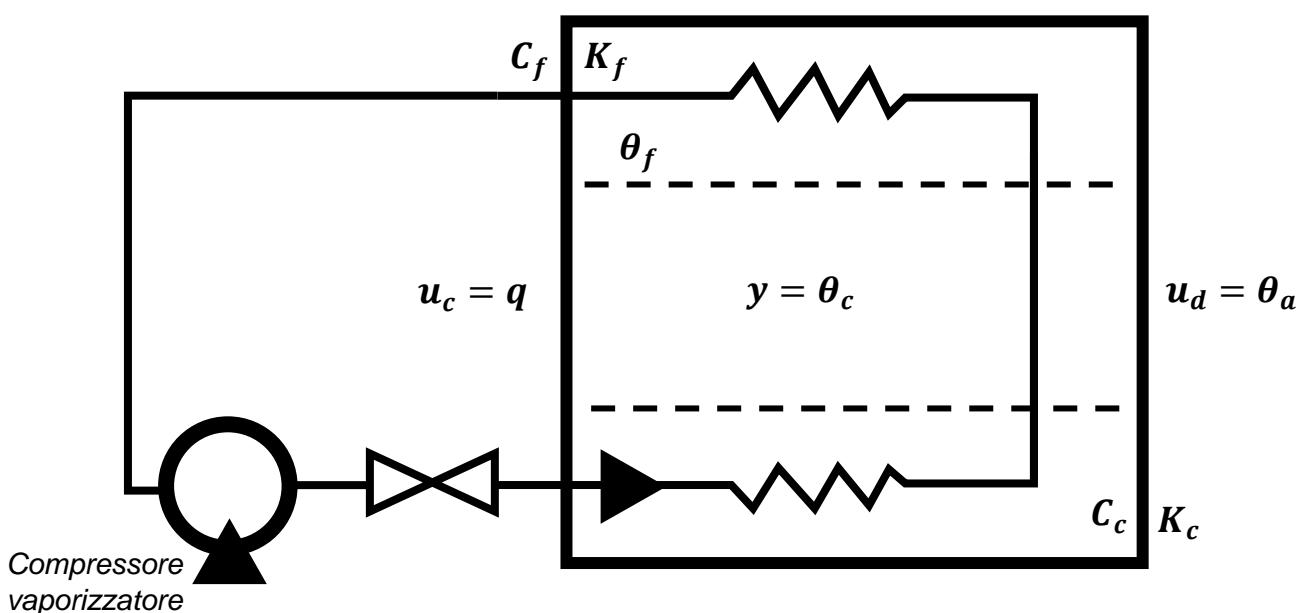


Figura 118 Schema di un frigorifero

10.2 Individuazione parametri e modello matematico

Si individuano i seguenti parametri

Parametro	Significato
$x_1 = \theta_f$	Temperatura frigorifero
$x_2 = \theta_c$	Temperatura del corpo frigorifero
$u_d = \theta_a$	Temperatura ambiente
$u_c = q$	Potenza termica somministrata
C_c	Capacità termica del corpo
K_c	Conduttanza termica corpo
C_f	Capacità termica del frigorifero
K_f	Conduttanza termica frigorifero

Il modello matematico sarà:

$$C_f \dot{x}_1 + K_c(x_1 - x_2) + K_f(x_1 - u_d) = u_c \quad (53)$$

$$C_c \dot{x}_2 = K_c(x_1 - x_2) \quad (54)$$

$$y = x_2 \quad (55)$$

Da cui si ottiene:

$$\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} -\frac{K_c + K_f}{C_f} & \frac{K_c}{C_f} \\ \frac{K_c}{C_c} & -\frac{K_c}{C_c} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_f} & \frac{K_f}{C_f} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} [u_d] \\ y = [0 \ 1]x \end{cases} \quad (56)$$

Si vuole calcolare la potenza termica u_c in entrata in modo che garantisca l'uscita controllata y segua un certo andamento y_d anche in presenza di variazioni di temperatura esterna u_d e variazioni parametriche del frigorifero. Si ha dunque:

$$y_r = \frac{1}{K_f} u_c + u_d \Rightarrow K_f(y_r - u_d) = K_f(y_d - u_d) \quad (57)$$

10.3 Simulink e simulazioni

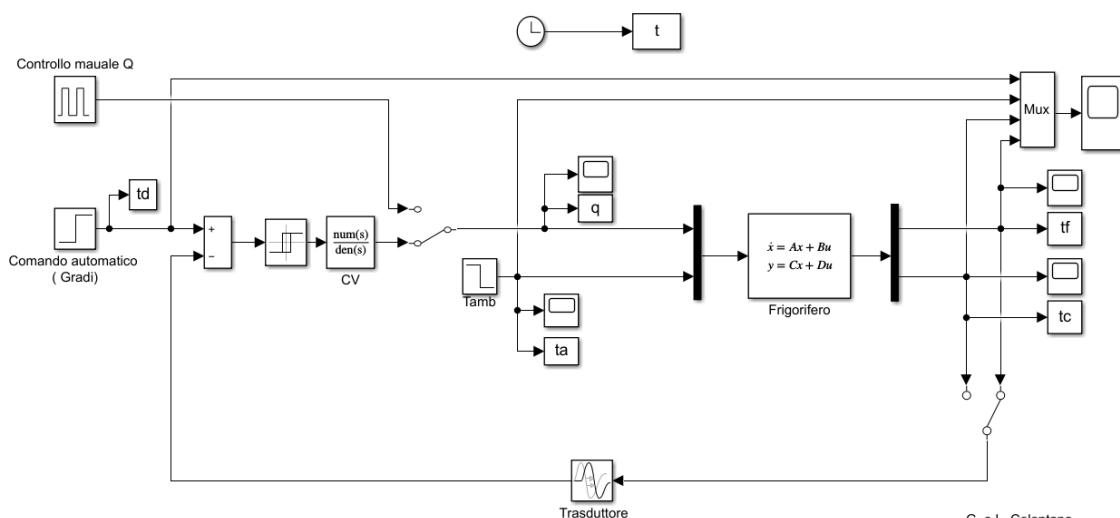


Figura 119 Schema Simulink di un frigorifero

È possibile simulare il sistema di controllo della temperatura di un frigorifero **frig.mdl** degli Autori.

Si scelgono i seguenti parametri per la prima simulazione considerando

$td \rightarrow$ temperatura desiderata,

$ta \rightarrow$ temperatura ambiente,

$tf \rightarrow$ temperatura frigorifero,

$tc \rightarrow$ temperatura corpo.

Parametro	Value
$\theta_f(0)$	30°C
$\theta_c(0)$	30°C
C_c	1e3 J/°C
K_c	2 W/°C
C_f	5e3 J/°C
K_f	25 W/°C
q	-550 W

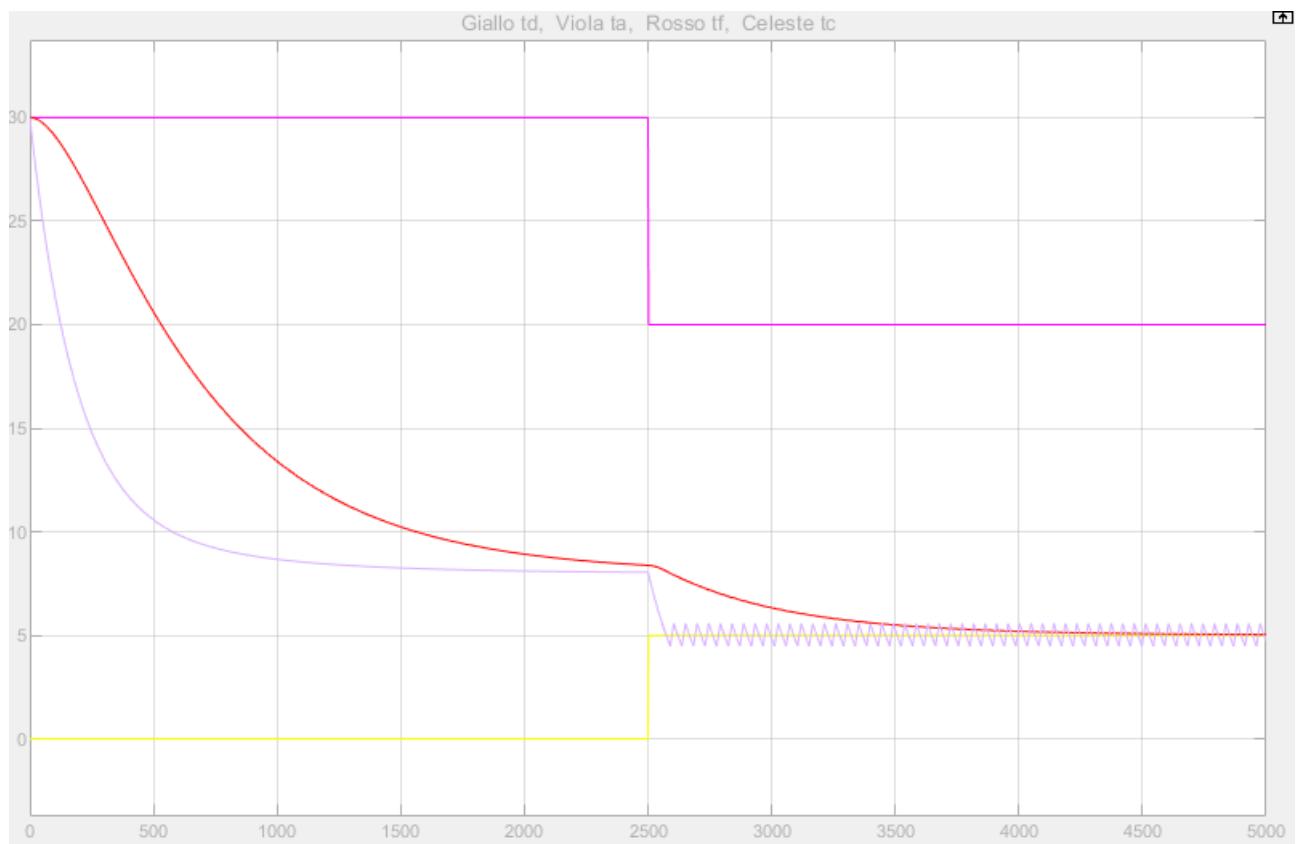


Figura 120 Simulazione con $K_c = 2 \text{ W/}^\circ\text{C}$

Analizzando il grafico si può osservare come un motore con potenza frigorifera -550 W non è in grado di far raggiungere al sistema la temperatura desiderata ossia i 0°C nei primi 2500s. All'aumentare della differenza termica tra la temperatura ambiente e la temperatura del frigo aumenta, la potenza termica raggiunge i 550W intorno i 2500s che da lì in poi la temperatura del frigo tenderà a 5°C .

Nella prossima simulazione cambiamo il K_c e la potenza termica sottratta

Parametro	Value
$\theta_f(0)$	30°C
$\theta_c(0)$	30°C
C_c	1e3 J/°C
K_c	10 W/°C
C_f	5e3 J/°C
K_f	25 W/°C
q	-900 W

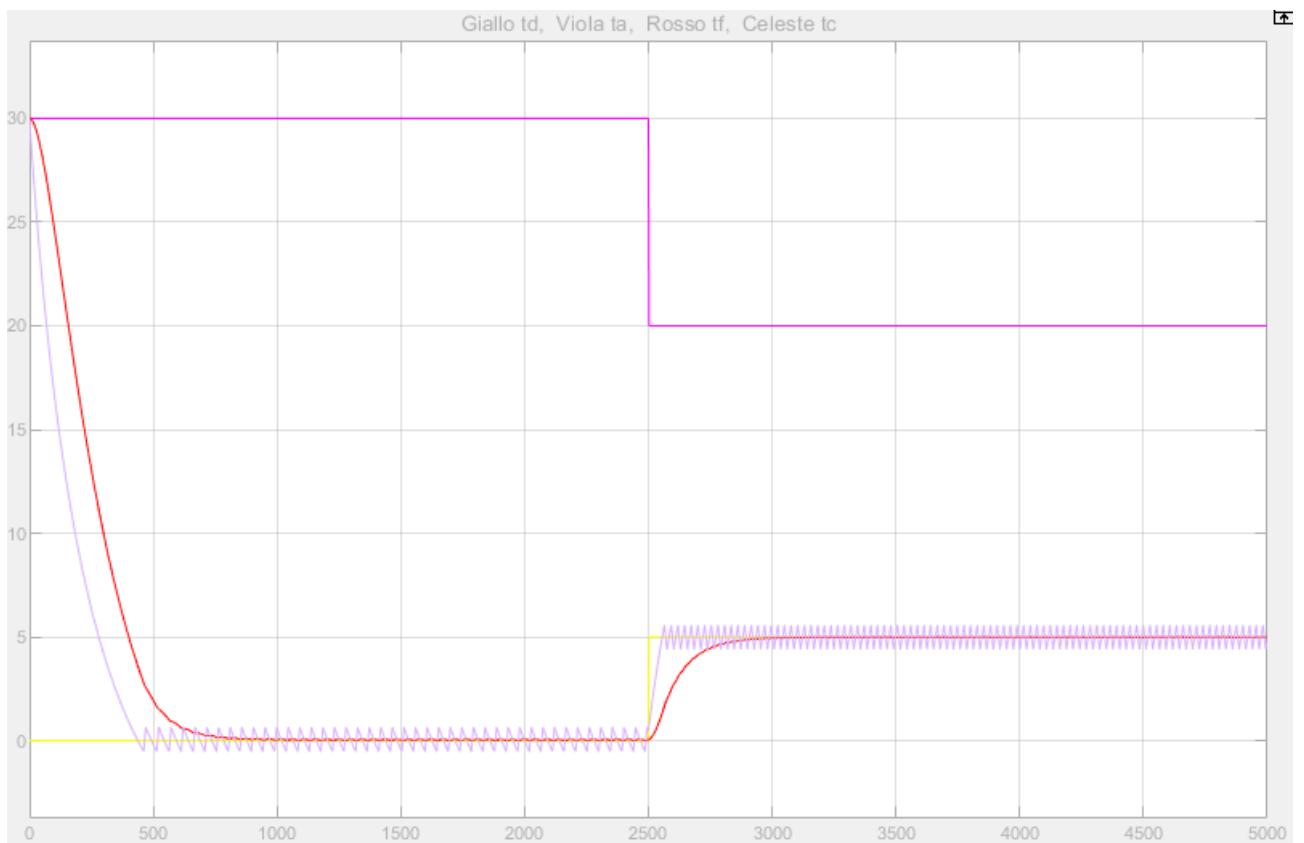


Figura 121 Simulazione con $K_c = 10 \text{ W/}^\circ\text{C}$

Aumentando il K_c che corrisponde ad un maggiore scambio termico tra frigo e corpo, si avrà la temperatura del corpo che segue l'andamento oscillante della temperatura del frigo dovuto anche qui dalla presenza del relè con isteresi che attacca e stacca il motore del compressore, infatti la temperatura del corpo segue la temperatura desiderata intorno i 500s mentre la temperatura del frigo si attiene alla temperatura desiderata intorno i 600s. Dall'istante 2500s in poi, la temperatura del frigo oscilla con frequenza maggiore, in quanto l'azione di raffreddamento è più rapida rispetto all'intervallo di tempo precedente, infatti essendo diminuita la temperatura ambiente ed essendo aumentata la temperatura desiderata del frigo, si riduce il salto termico che porta ad una riduzione di potenza termica proveniente dall'ambiente esterno.

Cambiando ulteriormente il K_c e diminuendolo fino a 5 W/°C e potenza termica del compressore -450W si ottiene:

Parametro	Value
$\theta_f(0)$	30°C
$\theta_c(0)$	30°C
C_c	1e3 J/°C
K_c	5 W/°C
C_f	5e3 J/°C
K_f	25 W/°C
q	-450 W

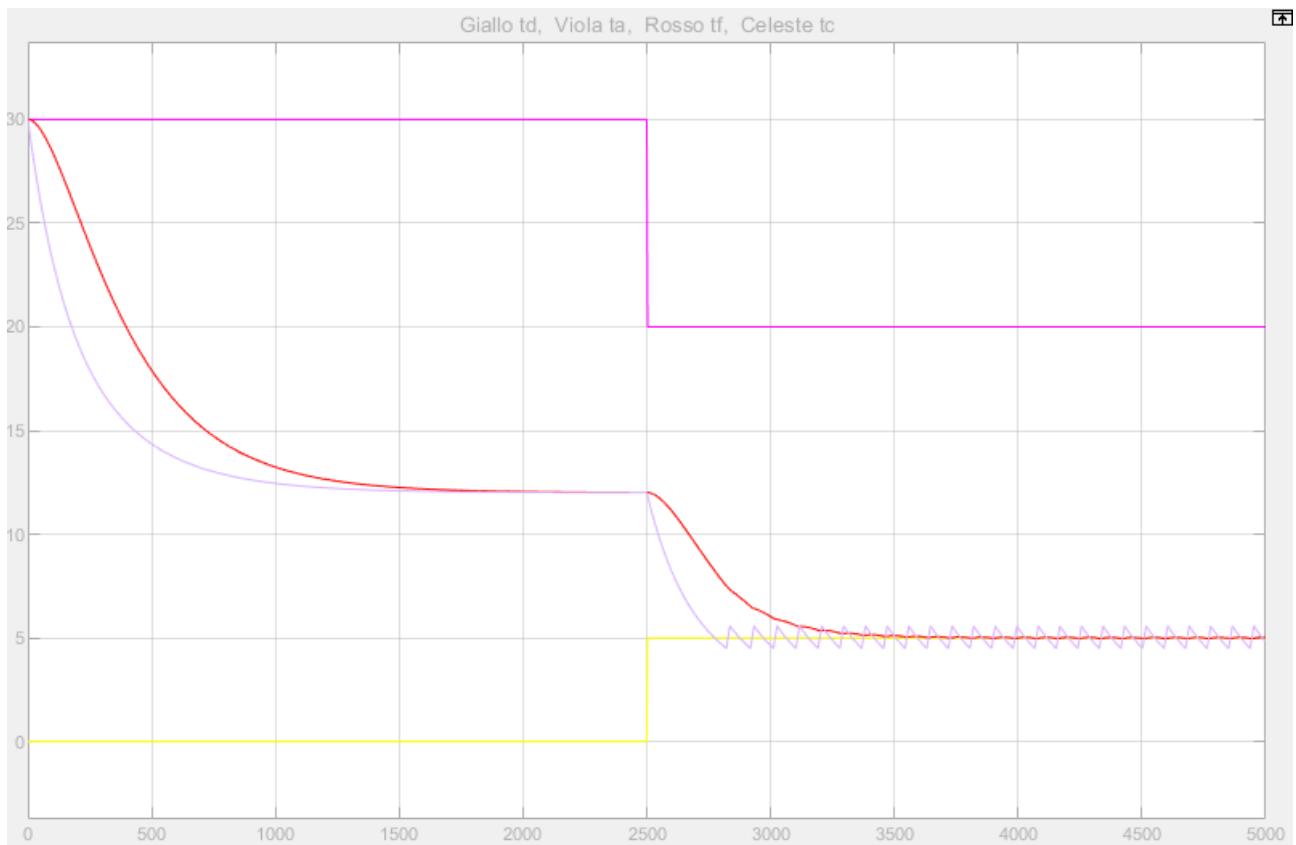


Figura 122 Simulazione con $K_c = 5 \text{ W/}^\circ\text{C}$

La temperatura del corpo del frigo raggiunge la temperatura desiderata intorno i 2700 secondi, mentre la temperatura del frigo raggiunge la temperatura desiderata intorno i 3200 secondi.

In queste condizioni le temperature, sia del frigo e sia del corpo del frigo non si sovrappongono con la temperatura desiderata fino ai 3500s circa. Da qui poi si aziona il relè che riesce a tenere la temperatura del corpo sulla temperatura desiderata.



È possibile provare il programma nella cartella allegata: Frigorifero → **m_frig.mdl**

10.4 Conclusioni

Quindi in definitiva il frigorifero risente della temperatura ambiente ed è dunque necessario un sistema di controllo che permette sempre di tenere la temperatura desiderata e di garantire la giusta conservazione degli alimenti.

11 Bibliografia e Sitografia

11.1 Bibliografia

- [1] G. Celentano, L. Celentano, *Modellistica e Simulazione*.
- [2] G. Celentano, L. Celentano, *Minimanuale dei programmi in Matlab/Simulink di modellistica e simulazione, Fondamenti di Dinamica dei Sistemi, Elementi di Controlli Automatici, Tecnologie dei Sistemi di Controllo, Versione 5*.
- [3] G. Celentano, L. Celentano, *Modellistica, Simulazione, Analisi, Controllo e Tecnologie dei Sistemi Dinamici – Fondamenti di Dinamica dei Sistemi Vol.II*, Napoli, 2010.

11.2 Sitografia

- Modello SEIR
 - Informazioni sul COVID e del Modello
 - https://it.wikipedia.org/wiki/Modelli_matematici_in_epidemiologia
 - <https://www.idmod.org/docs/hiv/model-seir.html>
 - <https://github.com/pcm-dpc/COVID-19>
- Sisma
 - Informazioni sulle zone sismiche in Italia
 - <https://www.studiomadera.it/news/270-zone-sismiche>
 - <https://www.meteofano.it/sismologia/rischio-sismico-di-fano.html>
- Auto
 - Informazioni peso auto e coefficienti asfalti
 - <https://www.blia.it/peso-auto/>
 - <http://www.cetris.it/tecnica/coeff.htm>
- Serratura
 - Informazioni sulla serratura porta
 - <https://mondolista.it/serrature-porta-blindata/>
- Antifurto
 - Informazioni sull'antifurto e immagini su Matlab
 - <https://www.antifurtocasa.biz/funzionamento-antifurto/>
 - <https://www.mathworks.com/help/images/display-an-image-in-a-figure-window.html>
- Serbatoio
 - Informazioni sul consumo medio della famiglia annuale
 - <https://luce-gas.it/acqua/consumo-medio-famiglia#:~:text=Il%20consumo%20medio%20giornaliero%20di,di%20componenti%20di%20una%20famiglia>
- Riscaldamento Bilocale
 - Informazioni sulla lana di roccia e poliuretano
 - https://www.casaenergetica.it/info/tecnologia/materiali/lana_di_roccia.html
 - https://www.casaenergetica.it/poliuretano_%28pur%29.html
 - <http://www.isoltop.it/profilipannelli/confrontiprestazionimaterialiisolanti.aspx>