

# CORSO DI “Gestione dei Processi Logistico Produttivi”

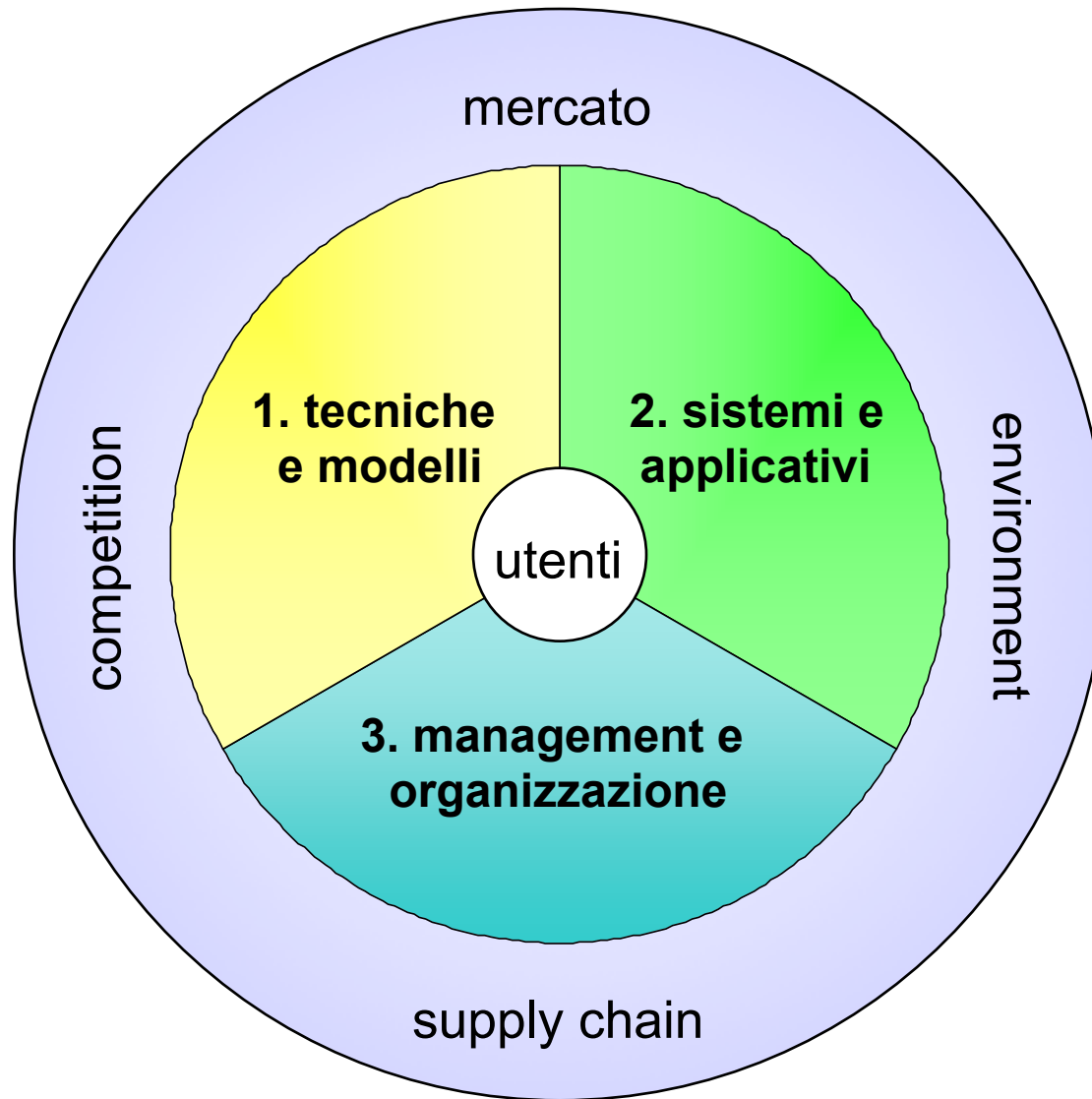
## ANALISI DELLA DOMANDA E PROCESSO PREVISIONALE

---

Facoltà di Ingegneria  
A.A. 2015-2016



# ● IL PROCESSO PREVISIONALE



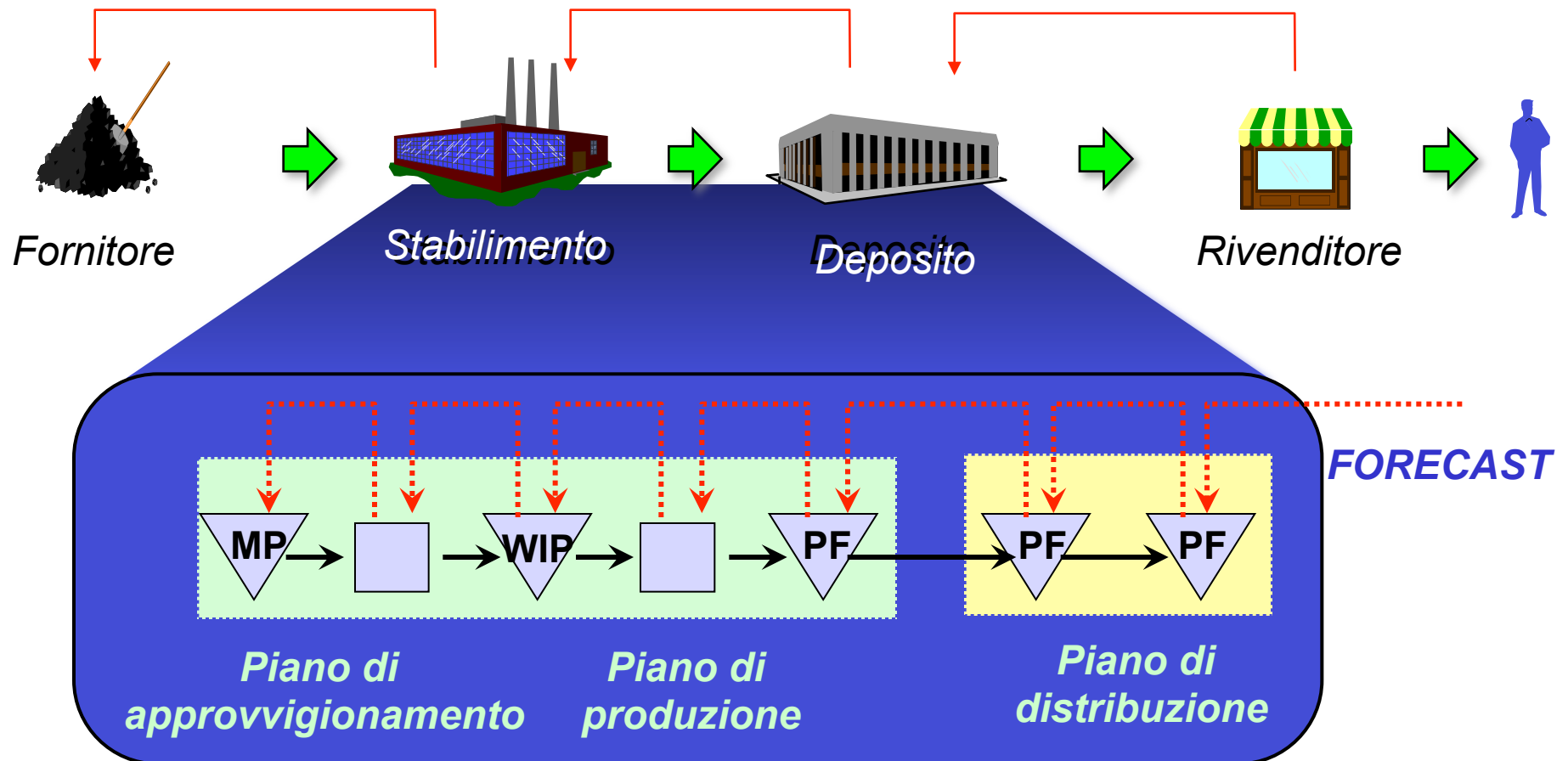


# INDICE

- ❑ il processo di pianificazione
- ❑ analisi delle serie storiche (trend e stagionalità)
- ❑ modelli basati sullo smorzamento esponenziale
- ❑ fasi del processo di implementazione
- ❑ monitoraggio delle previsioni (indicatori dell'errore)
- ❑ applicazioni numeriche

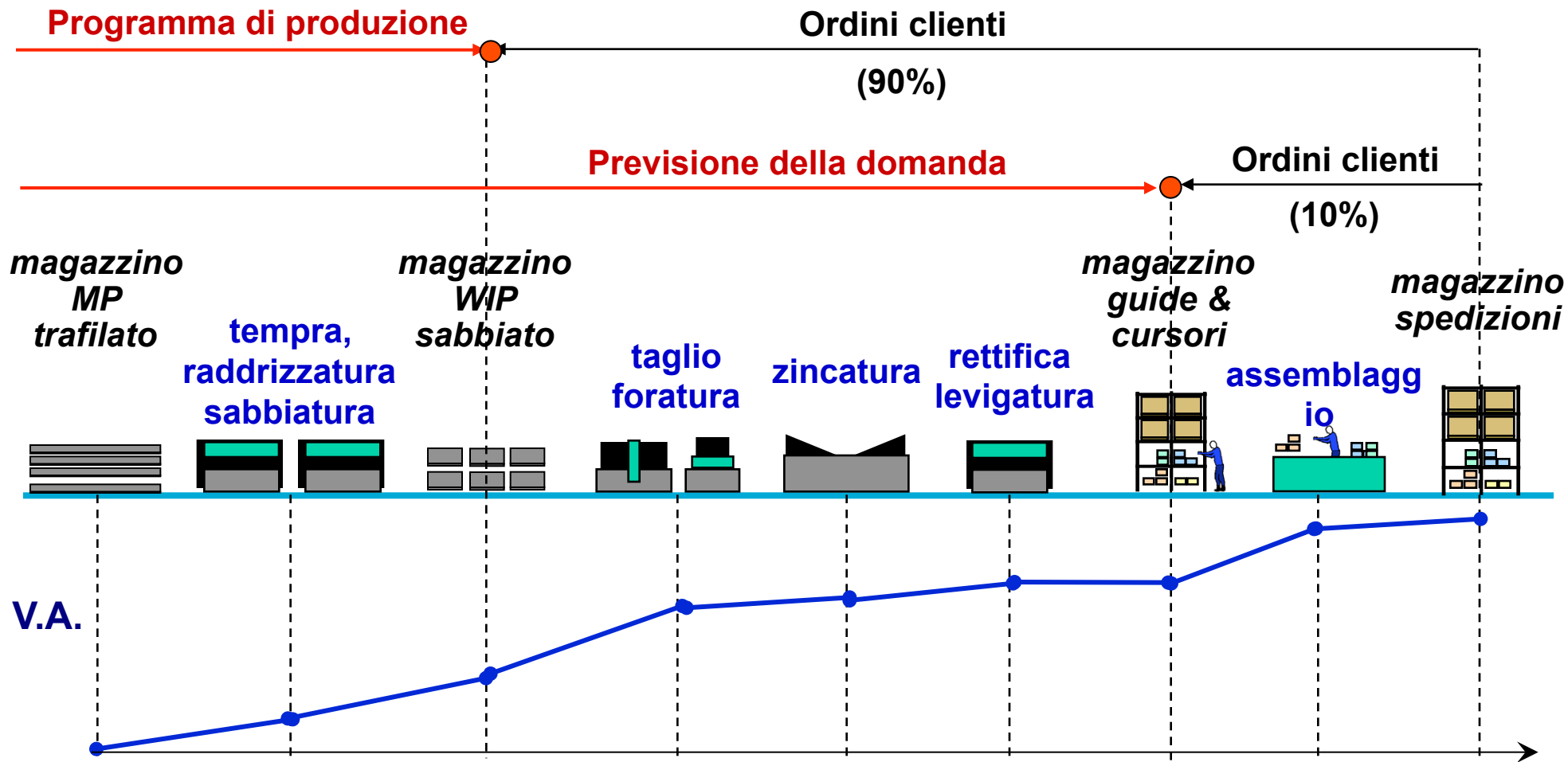
# IL PROCESSO DI PIANIFICAZIONE INTEGRATA

La gestione e il controllo delle scorte si basano su un corretto sistema di pianificazione della domanda di mercato e di gestione degli ordini



# PERCHÉ PREVEDERE ?

Ordine vs. Previsione

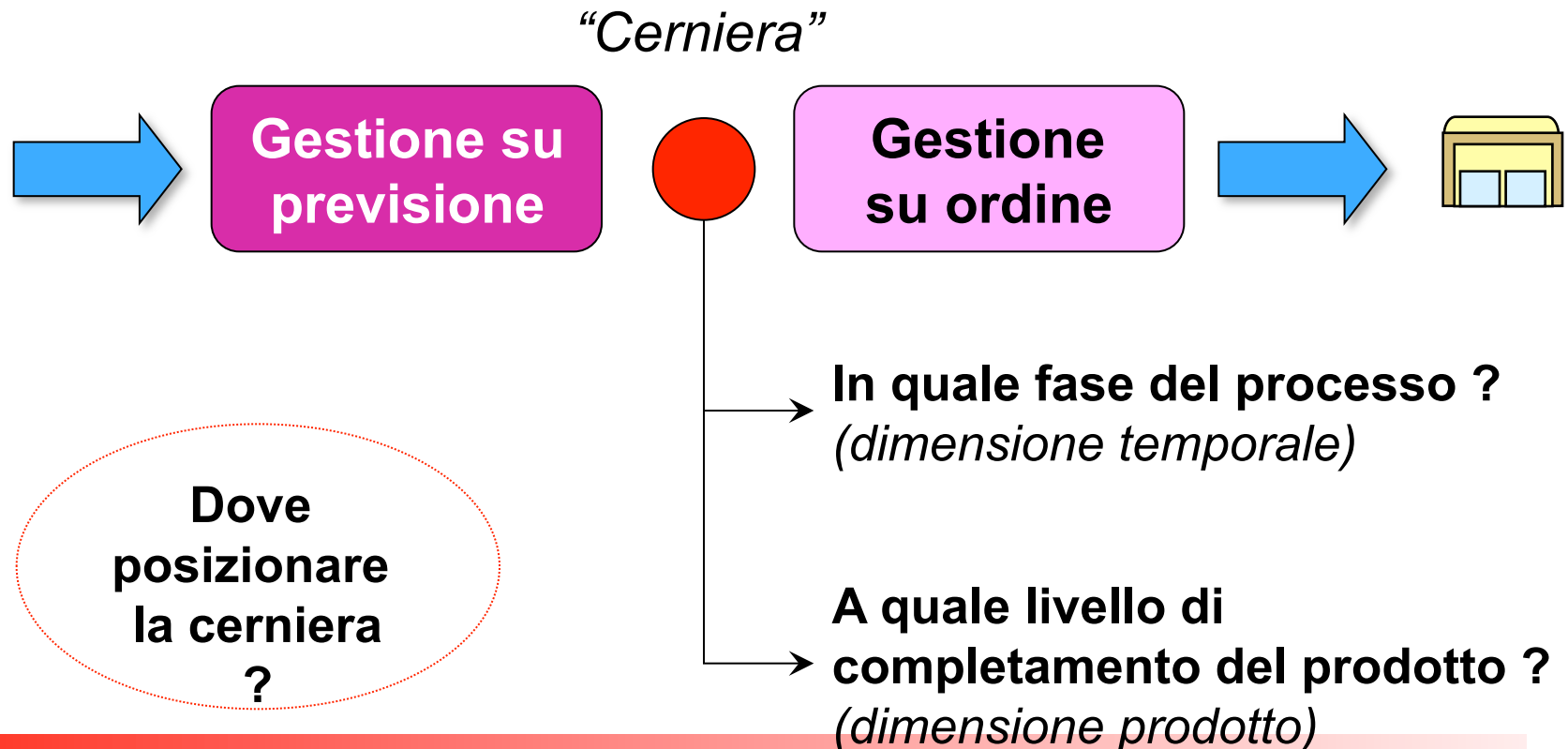


Esempio: Rollon S.p.A.

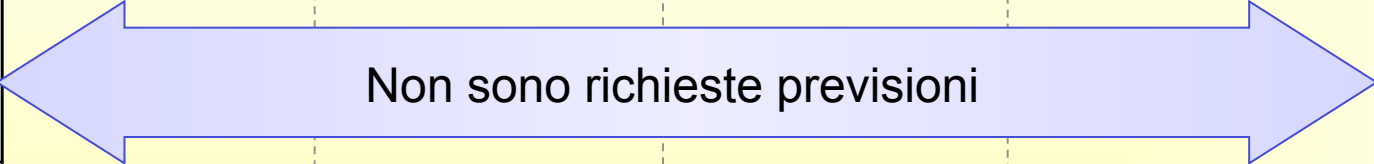
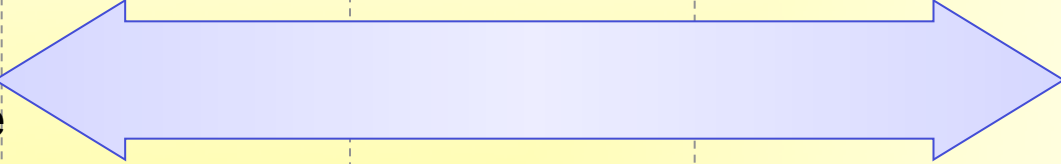
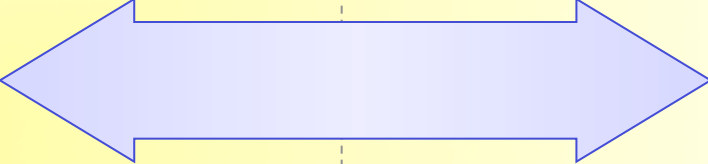
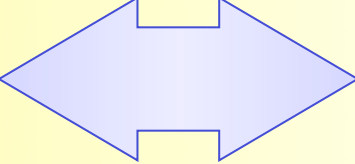
# ● PERCHÉ PREVEDERE ?

## Ordine vs. Previsione

All'interno del sistema produttivo-distributivo vi è un punto di disaccoppiamento (cerniera) che separa la parte di sistema gestito su ordine dalla parte di sistema che deve essere gestito su previsione



# ● PERCHÉ PREVEDERE ?

	Fasi del ciclo produttivo - distributivo				Alternativ e produttive
	Approvvigion.	Produzione	Assemblaggio	Spedizione	
Engineer to order	 <p>Non sono richieste previsioni</p>				- prodotto personalizzato su commessa
Make to order	Previsioni su materie prime				- prodotto standard su ordine
Assembl y to order	Previsioni su materie prime e componenti			- prodotto personalizzato su moduli standard	
Make to stock	Previsioni su materie prime, componenti e prodotti finiti			- produzione di serie	
Ship to stock	Previsioni su materie prime, componenti e prodotti finiti (disaggregata)				- beni di largo consumo


Lead Time accettato dai clienti / consentito dal mercato

# ● QUANDO PREVEDERE ?

## ORIZZONTE TEMPORALE DI PREVISIONE

❖ LUNGO TERMINE ( $> 2 \div 3$  ANNI)  
*DECISIONI STRATEGICHE*  
*(pianificazione per divisioni, linee di prodotto, mercati)*

❖ MEDIO TERMINE ( $1 \div 2$  ANNI)  
*DECISIONI TATTICHE*  
*(budget annuale; previsioni aggregate)*

❖ BREVE TERMINE ( $< 12$  MESI)  
*DECISIONI OPERATIVE*  
*(previsioni disaggregate su base settimanale e mensile)*

Previsioni

SU :

*vendite totali, capacità produttiva, modello di distribuzione, lancio di nuovi prodotti, ...*

*vendite totali e per linee di prodotto, prezzi per linee di prodotto, condizioni generali economiche...*

*vendite per codice prodotto, per area geografica, per cliente, prezzi e volumi ...*



## ● COSA PREVEDERE ?

❖ PRODOTTO (SKU, item, famiglia, business unit,...)

❖ MERCATO (punto vendita, regione,.. )

❖ PERIODO DI RIFERIMENTO (time bucket)

# ● LEGGE DI PROPAGAZIONE DEGLI SCARTI

L'accuratezza delle previsioni :



ALL'AUMENTARE DEL LIVELLO DI AGGREGAZIONE DI PRODOTTO  
(es. *la previsione fatta a livello di famiglia di prodotto risulta più accurata rispetto alla previsione ottenuta a partire dai singoli prodotti*)



ALL'AUMENTARE DEL LIVELLO DI AGGREGAZIONE NEL TEMPO  
(es. *la previsione fatta su base mensile risulta più accurata rispetto alla previsione ottenuta per le singole settimane*)



ALL'AUMENTARE DEL LIVELLO DI AGGREGAZIONE NELLO SPAZIO  
(es. *la previsione fatta sul totale vendite Italia risulta più accurata rispetto alla previsione ottenuta per le singole Regioni*)



ALL'AUMENTARE DELL'ORIZZONTE PREVISIONALE  
(*tanto più è lontano il momento in cui si vuole prevedere quanti più sono gli eventi casuali di disturbo*)



# QUADRO DELLE METODOLOGIE PREVISIONALI

## **METODI QUALITATIVI E A BASE SOGGETTIVA:**

- FORZA DI VENDITA
- PANEL DI ESPERTI / METODO DELPHI
- SCENARI FUTURI / ANALOGIE
- INDAGINI DI MERCATO, TEST E SONDAGGI

## **METODI CAUSALI BASATI SU CORRELAZIONE :**

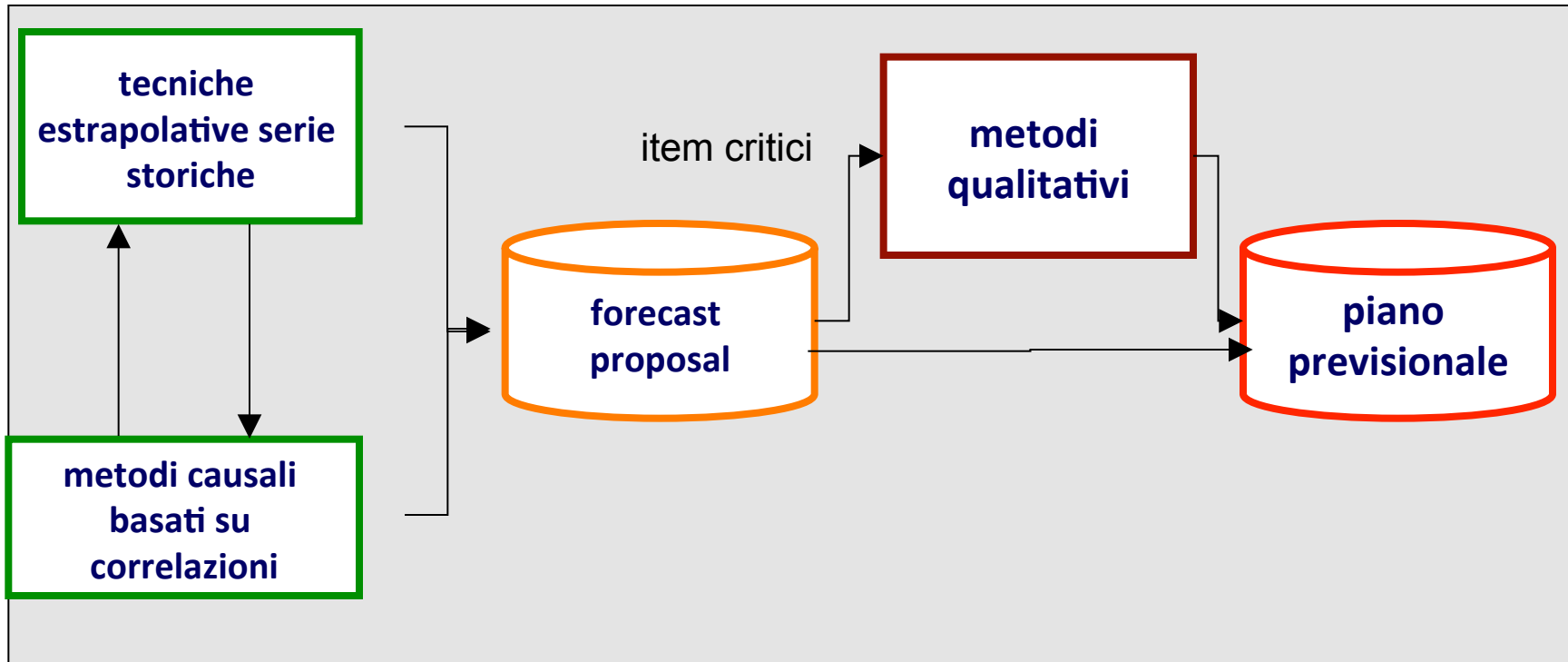
- REGRESSIONE (*lineare, quadratica, multipla,...*)
- ECONOMETRICI / INPUT-OUTPUT

## **TECNICHE ESTRAPOLATIVE DELLE SERIE STORICHE :**

- MEDIE MOBILI (*semplice, ponderata,..*)
- SMORZAMENTO ESPONENZIALE (*Winters...*)
- DECOMPOSIZIONE / PROIEZIONE TREND



# QUADRO DELLE METODOLOGIE PREVISIONALI





# INDICE

- ❑ il processo di pianificazione
- ❑ analisi delle serie storiche (trend e stagionalità)
- ❑ modelli basati sullo smorzamento esponenziale
- ❑ fasi del processo di implementazione
- ❑ monitoraggio delle previsioni (indicatori dell'errore)
- ❑ applicazioni numeriche

# PREVISIONE DELLA DOMANDA COMMERCIALE

- **AMBITO** : pianificazione integrata (gestione delle scorte, pianificazione della distribuzione, pianificazione della produzione, etc.)
- **LIVELLO DI DETTAGLIO** : codice articolo, SKU, famiglia merceologica
- **ORIZZONTE PREVISIONALE** : breve-brevissimo periodo ( $\leq 12$  mesi)
- **DATI STORICI** :
  - riferiti alle vendite settimanali/mensili/bimestrali ...
  - sono disponibili almeno 2 anni di storia (per stagionalità)
  - domanda di tipo continuativo e prevedibile (coefficiente di variazione :  $\sigma/DM$ )

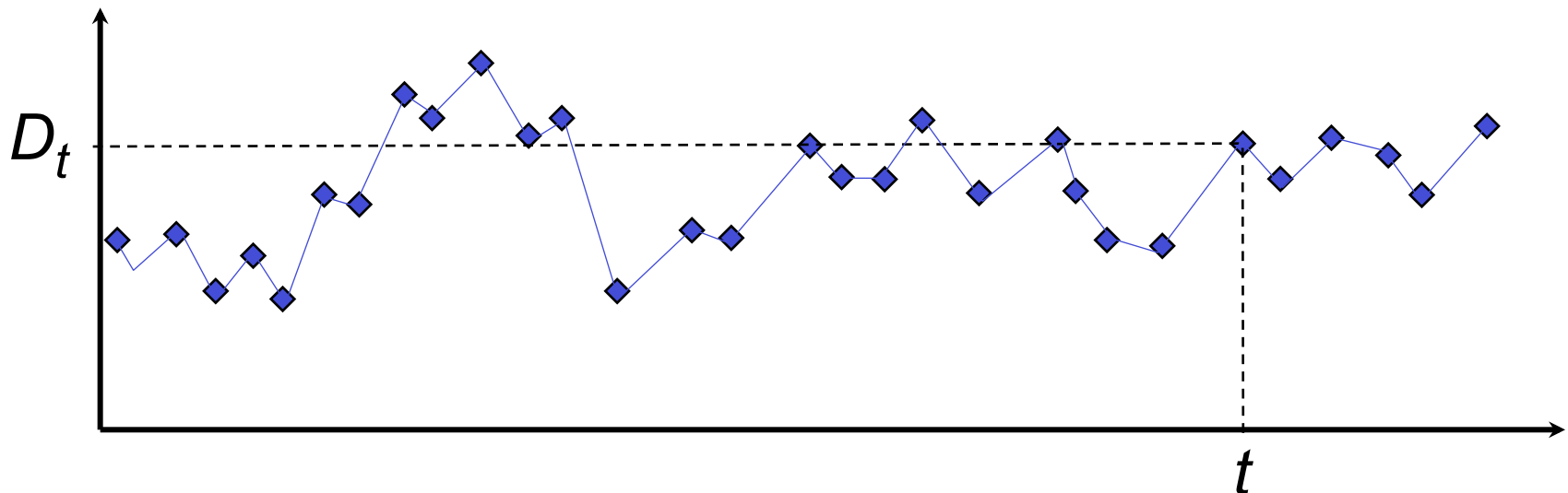


**TECNICHE QUANTITATIVE BASATE SU SERIE STORICHE**

# ● SERIE STORICHE

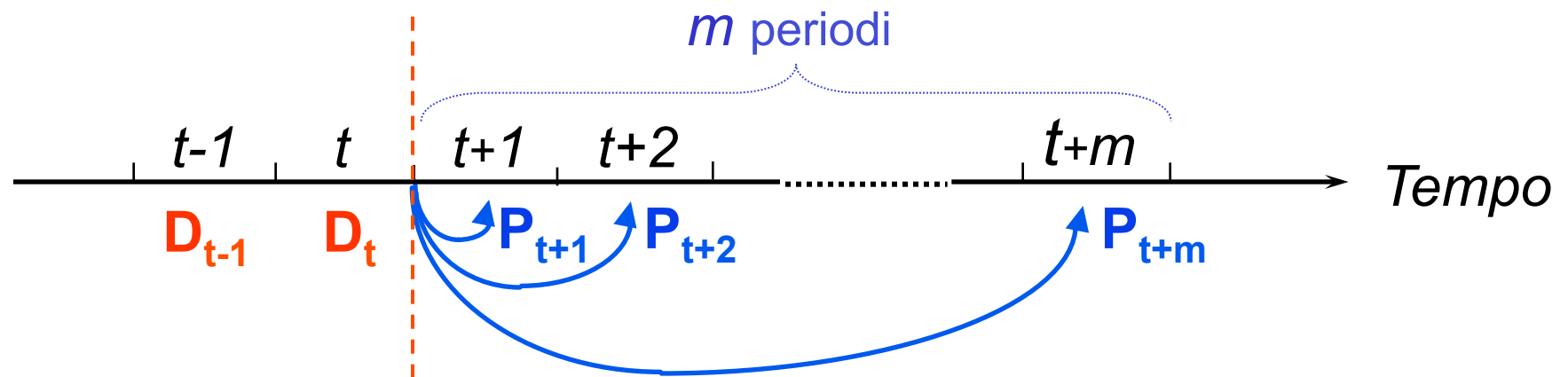
## DEFINIZIONE

Un **serie storica** è una sequenza di valori  $(D_1, D_2, D_3, \dots, D_t, \dots)$  assunti da una grandezza misurabile (*numero di ordini, migliaia di lire, kg, litri, ...*) e osservati in corrispondenza di specifici intervalli temporali di norma equidistanti (*giorni, settimane, mesi, trimestri, anni, ...*)



## ● SIMBOLOGIA ADOTTATA

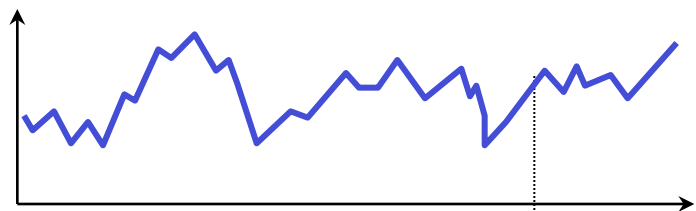
- DOMANDA EFFETTIVA relativa al periodo  $t$  :  $D_t$
- PREVISIONE fatta alla fine del periodo  $t$  per il periodo  $t+m$  :  $P_{t+m}$
- ORIZZONTE PREVISIONALE :  $m$



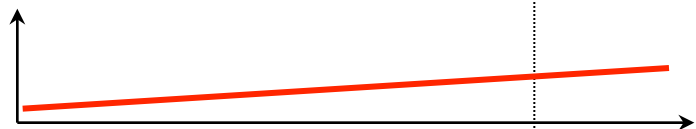




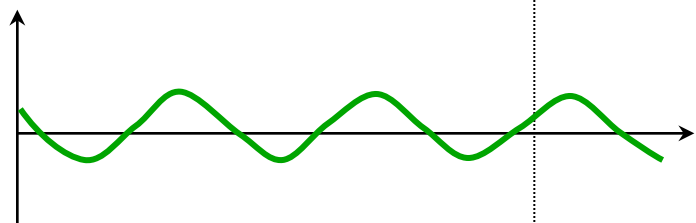
# COMPONENTI DI UNA SERIE STORICA



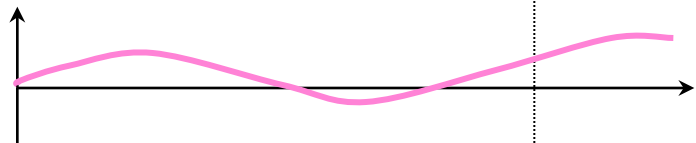
$D_t$  : valore della serie storica al tempo  $t$



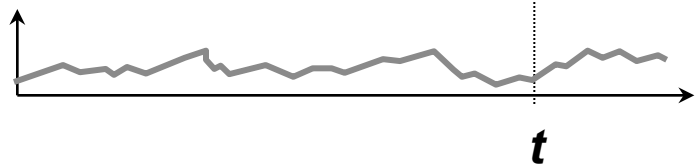
$T_t$  : componente di tendenza al tempo  $t$



$S_t$  : componente di stagionalità al tempo  $t$



$C_t$  : componente di ciclicità al tempo  $t$

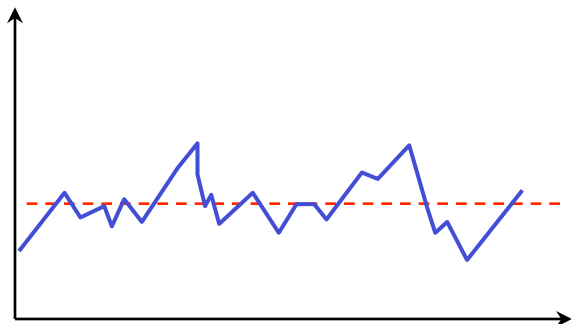


$\varepsilon_t$  : fluttuazione casuale al tempo  $t$

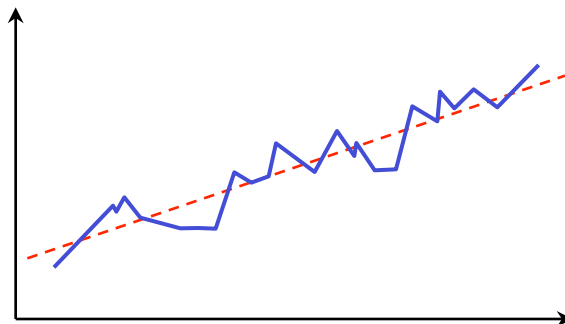
# TIPOLOGIE DI SERIE STORICHE

Senza stagionalità

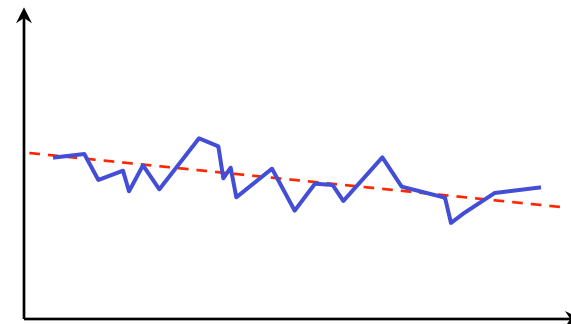
assenza di trend (stazionaria)



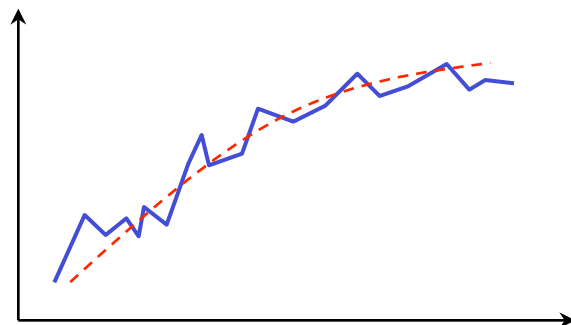
trend lineare / crescente



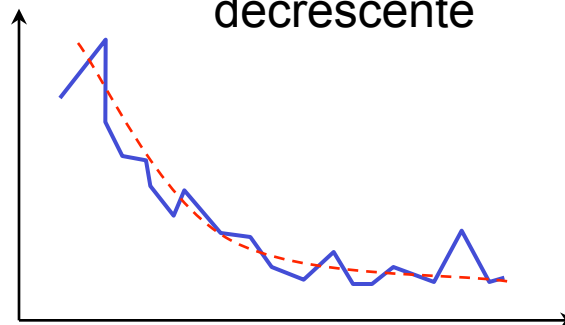
trend lineare / decrescente



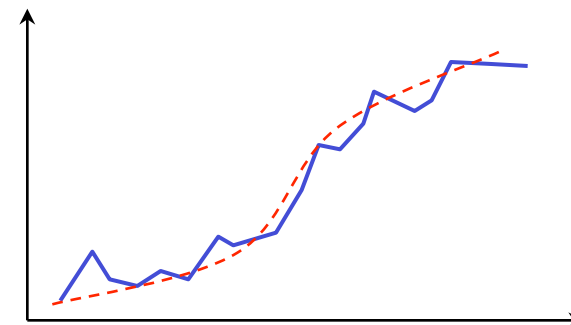
trend non lineare / crescente



trend non lineare /  
decrescente



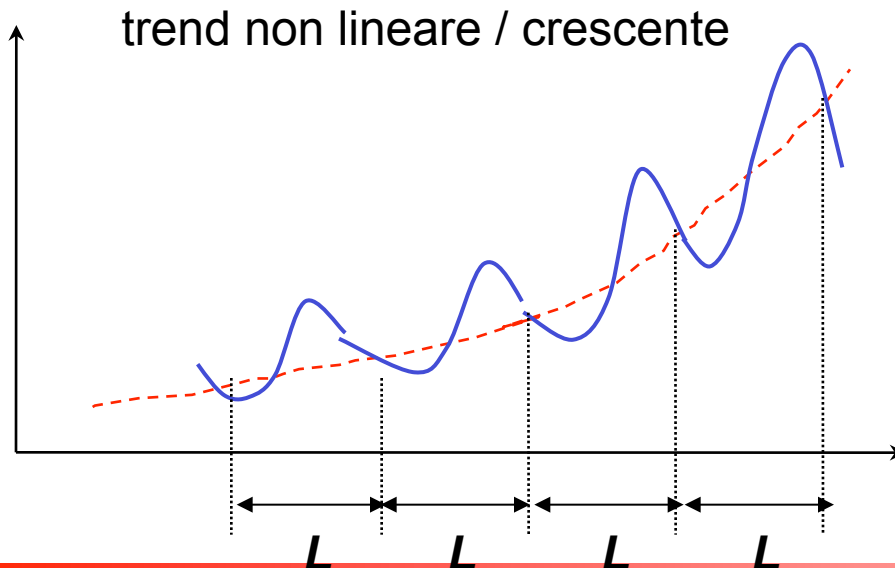
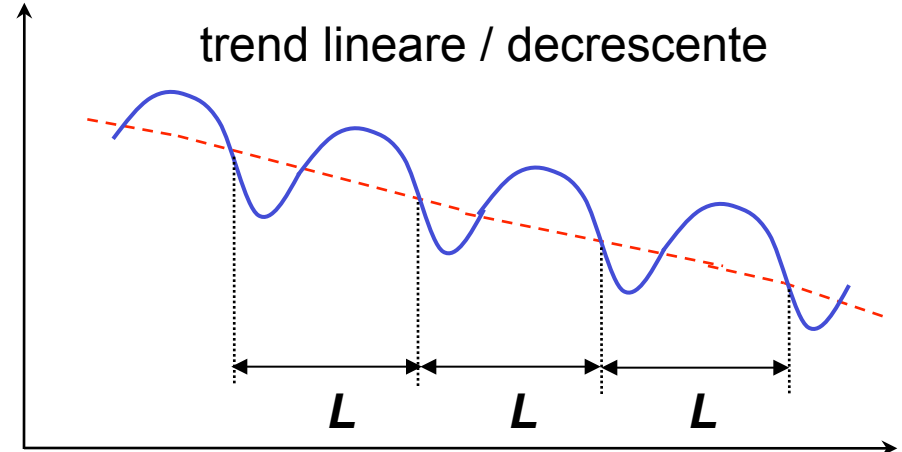
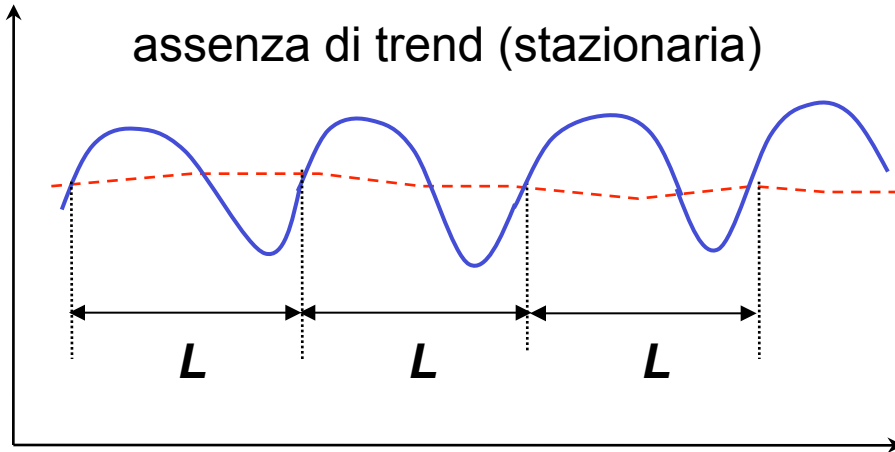
trend non lineare - "S" curve





# TIPOLOGIE DI SERIE STORICHE

Con stagionalità



**L** : *passo della stagionalità*

# ● ANALISI DELLE SERIE STORICHE

$$D_t = f ( T_t , S_t , C_t , \varepsilon_t )$$

PRIMA DI FORMULARE LE PREVISIONI DI VENDITA, È  
NECESSARIO ANALIZZARE L'ANDAMENTO PASSATO  
DELLA SERIE STORICA PER INDIVIDUARE L'ESISTENZA DI  
EVENTUALI



**COMPONENTI DI  
TREND E STAGIONALITÀ**

# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

## CAUSE DI STAGIONALITA'

- CLIMATICHE
- USI & COSTUMI (ricorrenze, vacanze, ...)
- PROMOZIONI CICLICHE (scuola, "bianco", ...)
- CONTABILI & FISCALI (fine mese, budget, ...)

## FENOMENI EXTRA- STAGIONALI

- GIORNI LAVORATIVI EFFETTIVI
- CALENDARIO
- FESTIVITÀ MOBILI (es. Pasqua)

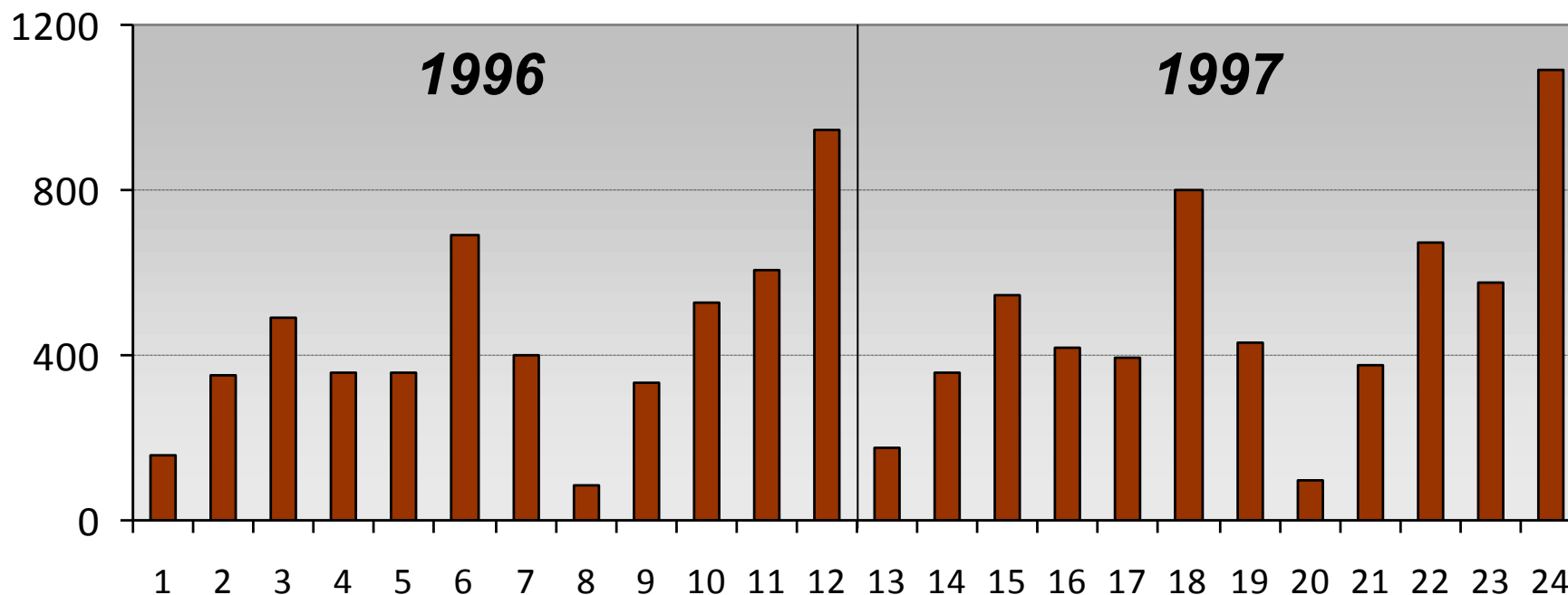


# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

*Componente di stagionalità*

SI DEVE ANALIZZARE LA SEGUENTE SERIE STORICA SU BASE MENSILE :

Domanda	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
1996	155	354	492	358	359	688	401	82	336	525	604	944
1997	178	360	546	418	394	801	428	95	374	674	573	1088



**ANALISI DELLE SERIE STORICHE**

DISPONENDO DI  $N$  DATI STORICI (ALMENO DUE ANNI), E' POSSIBILE EFFETTUARE UN'ANALISI DI AUTOCORRELAZIONE (ACF), CALCOLANDO IL COEFFICIENTE DI AUTOCORRELAZIONE  $r_k$  PER DIVERSI VALORI DI "k"

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X}_{(1)}) \cdot (X_{t+k} - \bar{X}_{(2)})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X}_{(1)})^2} \cdot \sqrt{\sum_{t=1}^{n-k} (X_{t+k} - \bar{X}_{(2)})^2}}$$

dove :  $\bar{X}_{(1)} = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} X_t}{n-k}$  e  $\bar{X}_{(2)} = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} X_{t+k}}{n-k}$  (k = 1, 2, 3, ... )

## ANALISI DELLE SERIE STORICHE

E' DIMOSTRABILE CHE, PER ELEVATI VALORI DI N E VICEVERSA PER BASSI VALORI DI "k", LA FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI AUTOCORRELAZIONE PUO' ESSERE SEMPLIFICATA COME SEGUE:

$$r_k = \frac{\sum_{i=0}^{N-k-1} (D_{t-i} - \bar{M}) \cdot (D_{t-i-k} - \bar{M})}{\sum_{i=0}^{N-1} (D_{t-i} - \bar{M})^2}$$

$$\text{dove : } \bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} D_{t-i} \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

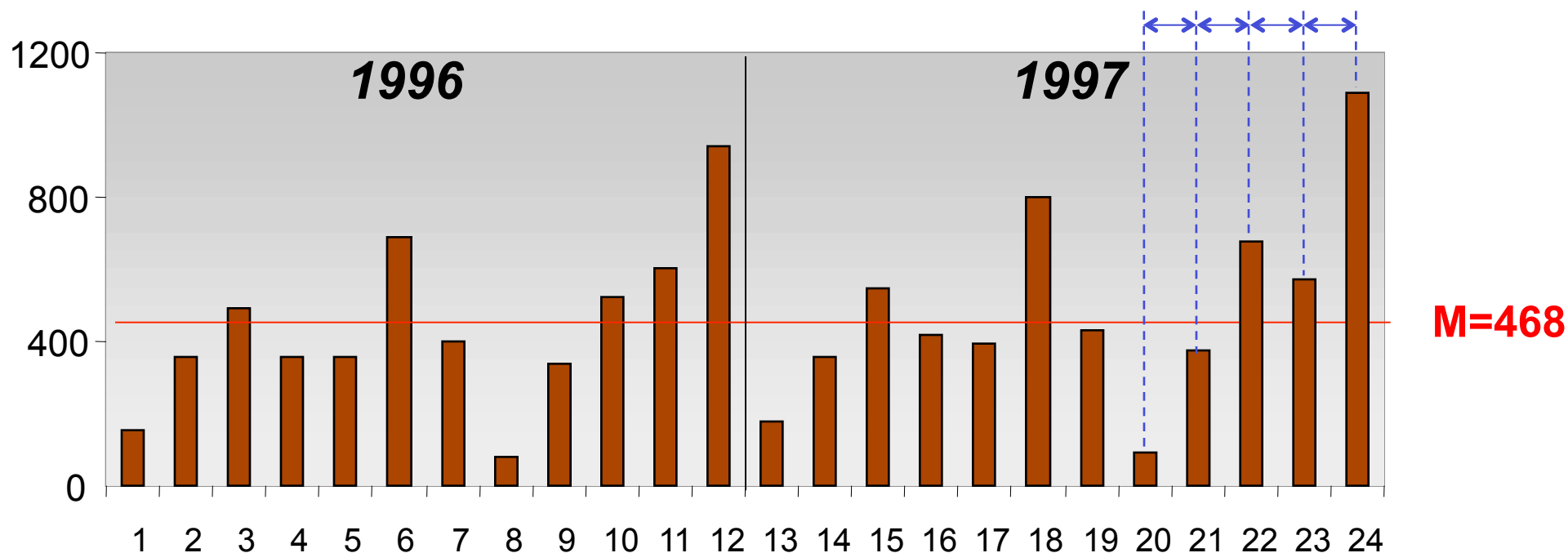




# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

*Componente di stagionalità*

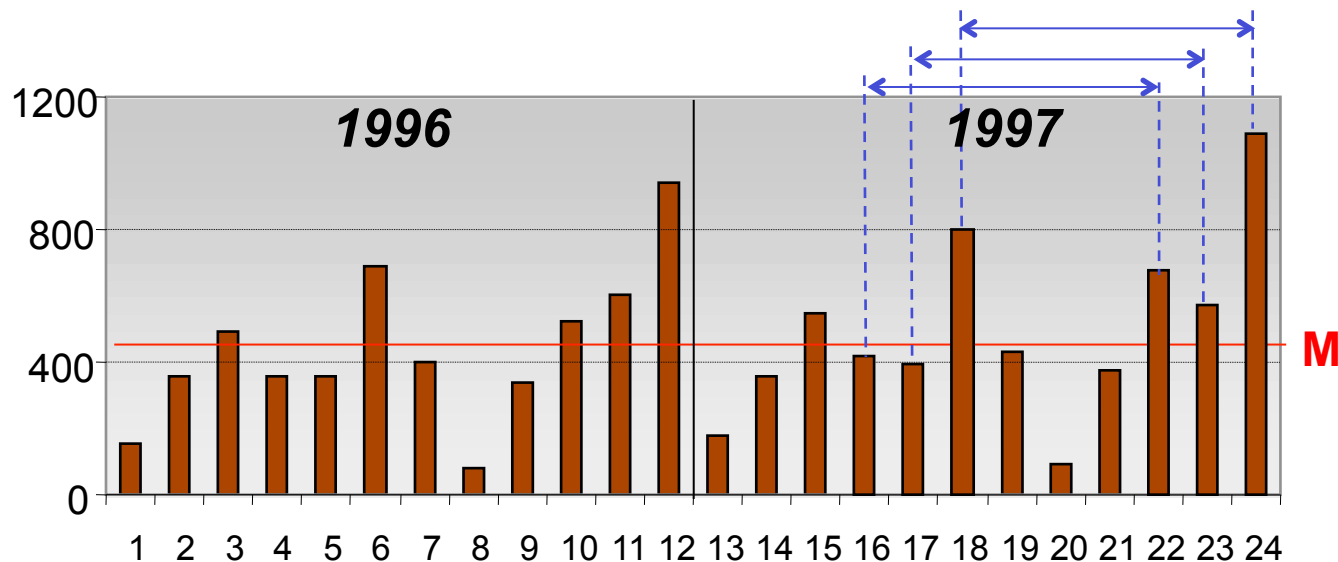
L'ANALISI DI AUTOCORRELAZIONE CONSENTE DI CONFRONTARE A COPPIE I DATI DI DOMANDA SFASATI DI  $k$  MESI CON IL VALOR MEDIO DELLA SERIE  
Esempio :  $k=1$



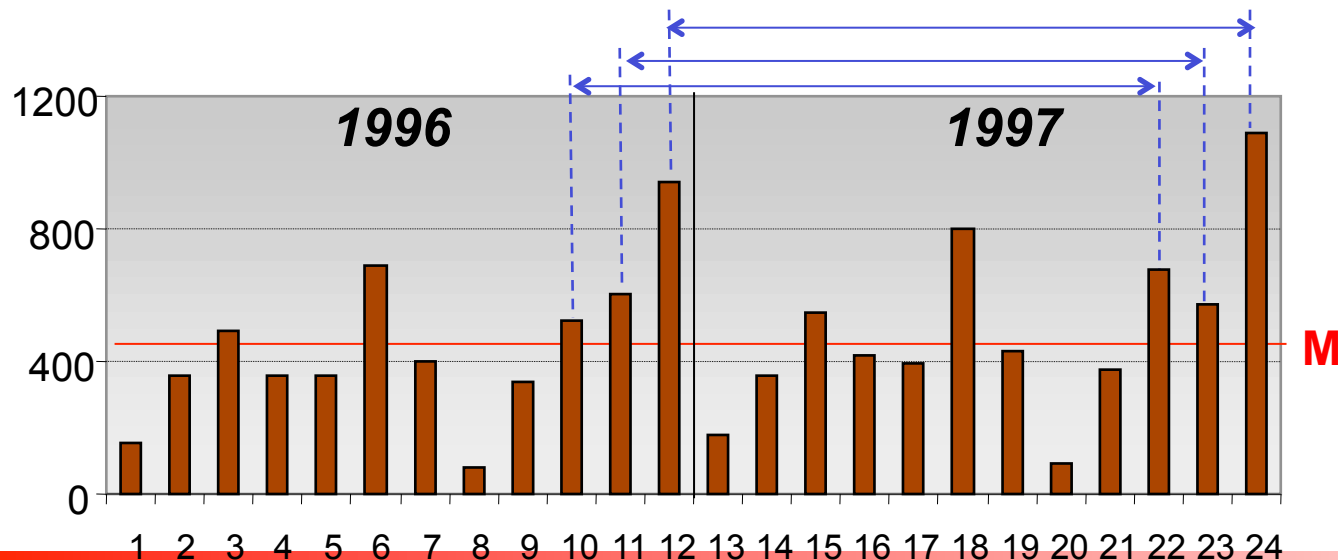


# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

*Componente di stagionalità*



Esempio :  $k=6$



Esempio :  $k=12$

# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

**Serie storica**  
(1, 2, 3, ..., N)

1996	155	155	
	354	354	
	492	492	
	358	358	
	359	359	
	688	688	
	401	401	
	82	82	
	336	336	
	525	525	
	604	604	
	944	944	
1997	178	178	
	360	360	
	546	546	
	418	418	
	394	394	
	801	801	
	428	428	
	95	95	
	374	374	
	674	674	
	573	573	
	1088	1088	

**Serie II**  
(k+1, k+2, ..., N)

**Serie I**  
(1, 2, 3, ..., N-k)

es. k=6

In EXCEL adottare la funzione: “ =CORRELAZIONE (serie\_I; serie\_II) ”

# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

CALCOLANDO IL COEFFICIENTE DI AUTOCORRELAZIONE  $r_k$  PER DIVERSI VALORI DI “ $k$ ” NEL CASO CONSIDERATO RISULTA :

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$r_k$	0,102	-0,262	-0,075	-0,216	-0,081	0,587	0,128	-0,153	-0,063	-0,266	-0,206	0,986

Esempio :  $N=24$  ,  $k=6$

$$r_6 = \frac{\sum_{i=0}^{17} (D_{t-i} - 468) \cdot (D_{t-i-6} - 468)}{\sum_{i=0}^{23} (D_{t-i} - 468)^2}$$

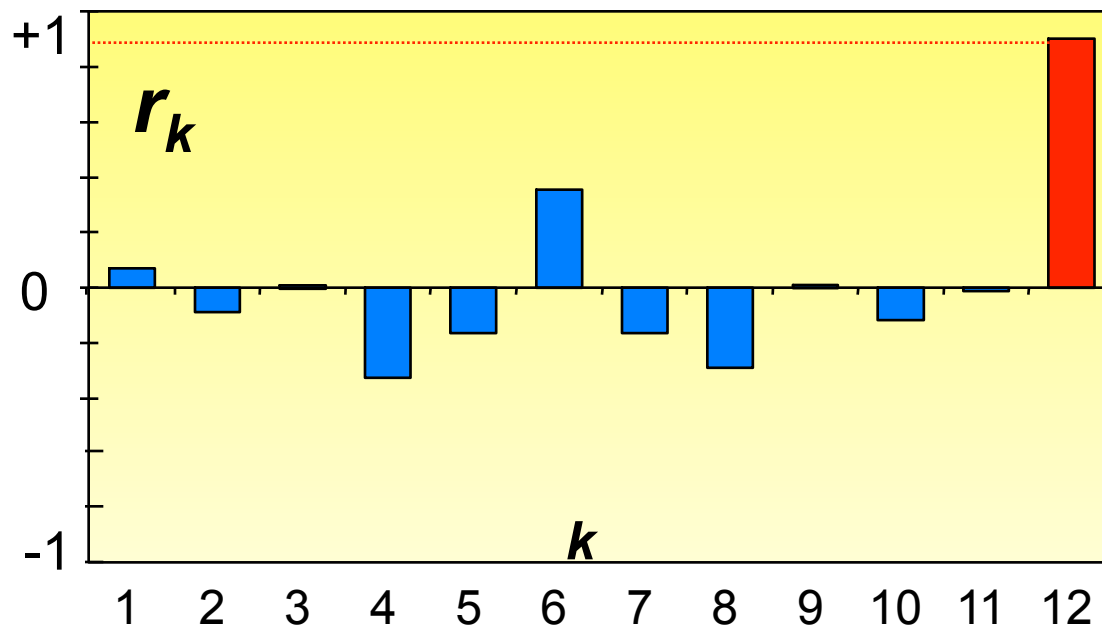
In EXCEL adottare la funzione: “ =CORRELAZIONE (serie [1-18] ; serie [7-24]) ”

## ANALISI DELLE SERIE STORICHE

Il correlogramma è ottenuto riportando su un grafico i valori del coefficiente di autocorrelazione  $r_k$  in funzione dello scarto temporale  $k$ .

Se esiste un picco nella funzione di autocorrelazione ( $r_k > z/\sqrt{N}$ ) per valori di  $k > 2$ , allora la serie storica è affetta da stagionalità.

Il valore di  $k$  per cui  $r_k$  è massimo identifica il passo della stagionalità  $L$



*Nel caso considerato  
si ha una stagionalità  
di passo annuale  
( $L=12$ )*

## ANALISI DELLE SERIE STORICHE

SI DEFINISCONO  $L$  FATTORI (MOLTIPLICATIVI) DI STAGIONALITÀ,  
UNO PER OGNI PERIODO DEL CICLO STAGIONALE.

$$S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad \dots \quad S_L$$

Il coefficiente di stagionalità di un generico periodo  $i$  è calcolato come rapporto tra il valore di domanda nel periodo  $i$  ed il valore medio della domanda



$$S_i = \frac{D_i}{M}$$

# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

Nel caso considerato si hanno 12 coefficienti di stagionalità per ciascun ciclo stagionale  $S_{gen}$ ,  $S_{feb}$ ,  $S_{mar}$ , ...,  $S_{dic}$  uno per ogni mese dell'anno

Domanda	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
1996	155	354	492	358	359	688	401	82	336	525	604	944
1997	178	360	546	418	394	801	428	95	374	674	573	1088
Stagionalità	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
1996	0,331	0,757	1,052	0,765	0,767	1,471	0,857	0,175	0,718	1,122	1,291	2,018
1997	0,381	0,770	1,167	0,894	0,842	1,712	0,915	0,203	0,800	1,441	1,225	2,326
$S_i$	<b>0,356</b>	<b>0,763</b>	<b>1,109</b>	<b>0,829</b>	<b>0,805</b>	<b>1,592</b>	<b>0,886</b>	<b>0,189</b>	<b>0,759</b>	<b>1,282</b>	<b>1,258</b>	<b>2,172</b>

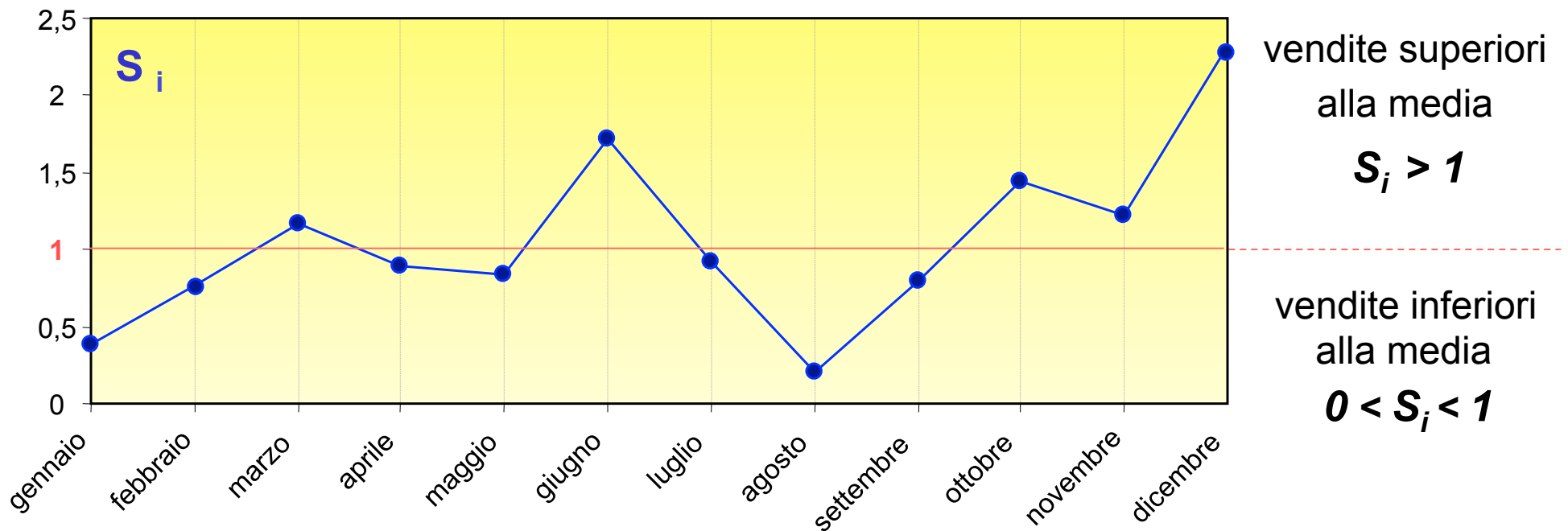
Significa che nel mese di Novembre le vendite sono mediamente del 25,8% superiori rispetto al valor medio delle vendite nell'anno



# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

Componente di  
*stagionalità*

RIPORTANDO I VALORI DEI COEFFICIENTI DI STAGIONALITA' SI  
OTTIENE LA COSIDDETTA " FIGURA DI STAGIONALITA' "





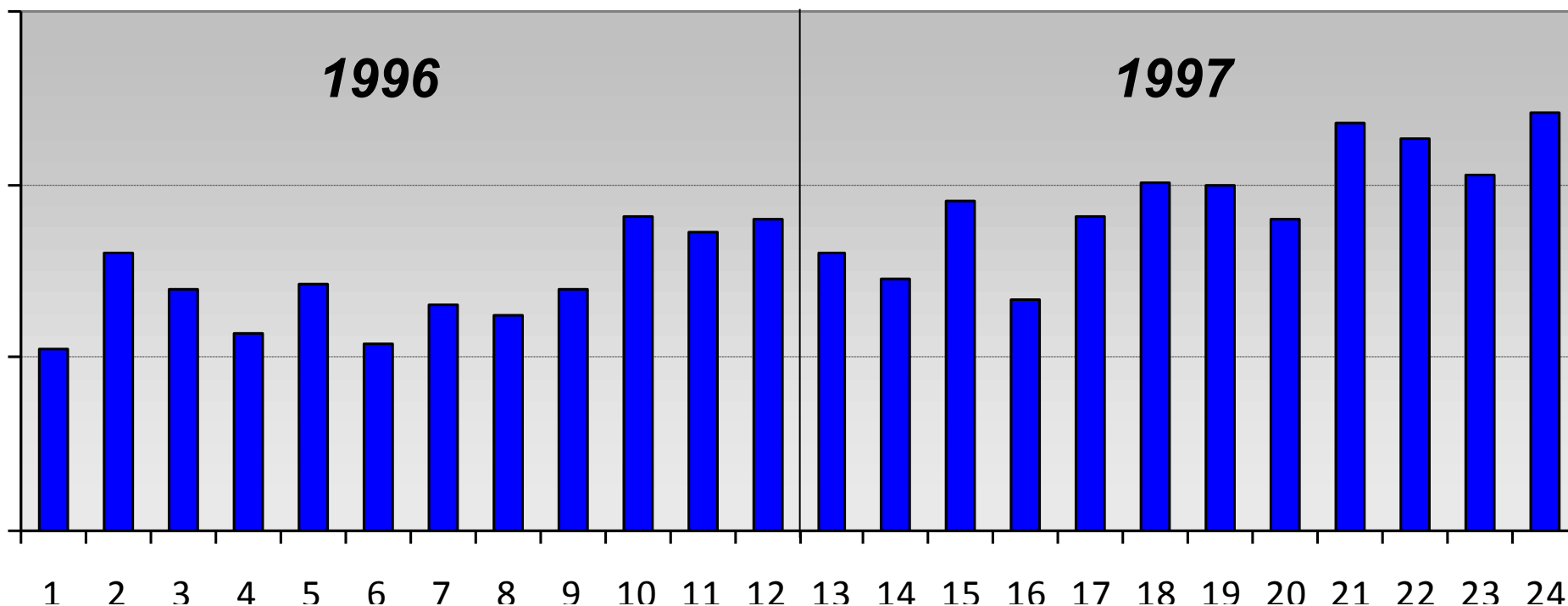


# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

*Componente di trend*

SI DEVE ANALIZZARE LA SEGUENTE SERIE STORICA SU BASE  
MENSILE :

Domanda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996	105	160	139	114	143	108	130	125	140	181	172	180
1997	161	146	190	134	182	201	200	180	235	226	206	242

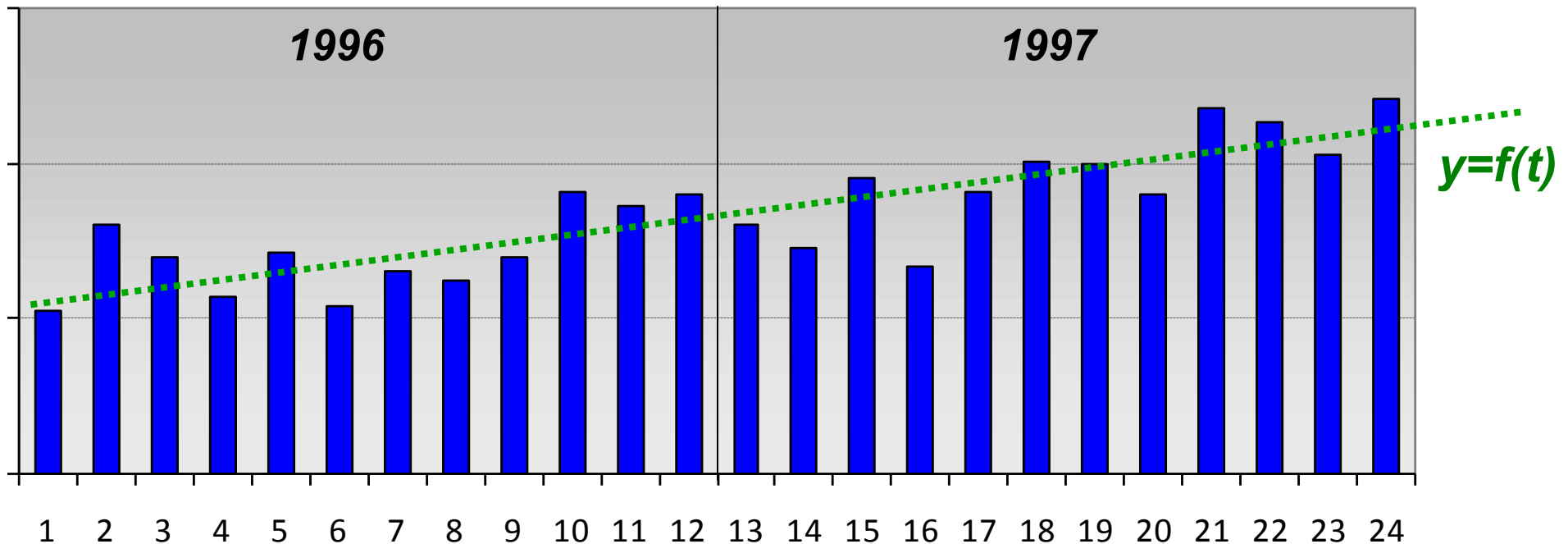




# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

*Componente di trend*

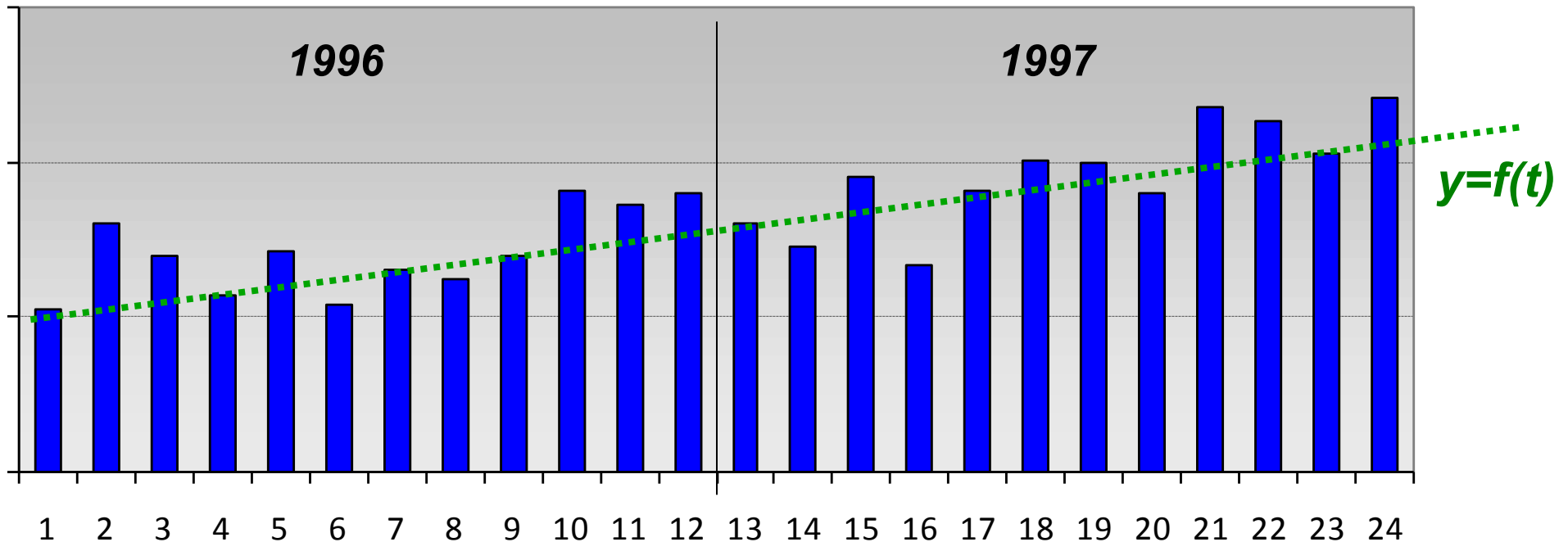
MEDIANTE L'ANALISI DI REGRESSIONE E' POSSIBILE IDENTIFICARE LA NATURA DELLA TENDENZA DI FONDO (TREND) E QUANTIFICARLA



In questo caso, è necessario identificare la funzione teorica  $y=f(t)$  (retta, parabola, ...) che meglio approssima la serie reale dei dati storici



ASSUMENDO UN TREND DI TIPO LINEARE E' NECESSARIO DETERMINARE IL VALORE DEI COEFFICIENTI DELLA RETTA DI REGRESSIONE



**Retta di regressione**

$$y = a + b \cdot t$$

*Metodo dei minimi quadrati*



**a**  
**b**



# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

## Componente di trend

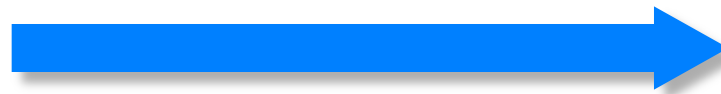
NEL CASO CONSIDERATO RISULTA :

mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
domanda	105	160	139	114	143	108	130	125	140	181	172	180	161	170	180	235	226	206	242								
y= a+ bt	113	117	122	127	132	136	141	146	150	155	160	164	169	174	179	202	206	211	216	221							

**Retta di regressione**

$$y = a + b \cdot t$$

*Metodo dei minimi quadrati*



**a= 108**

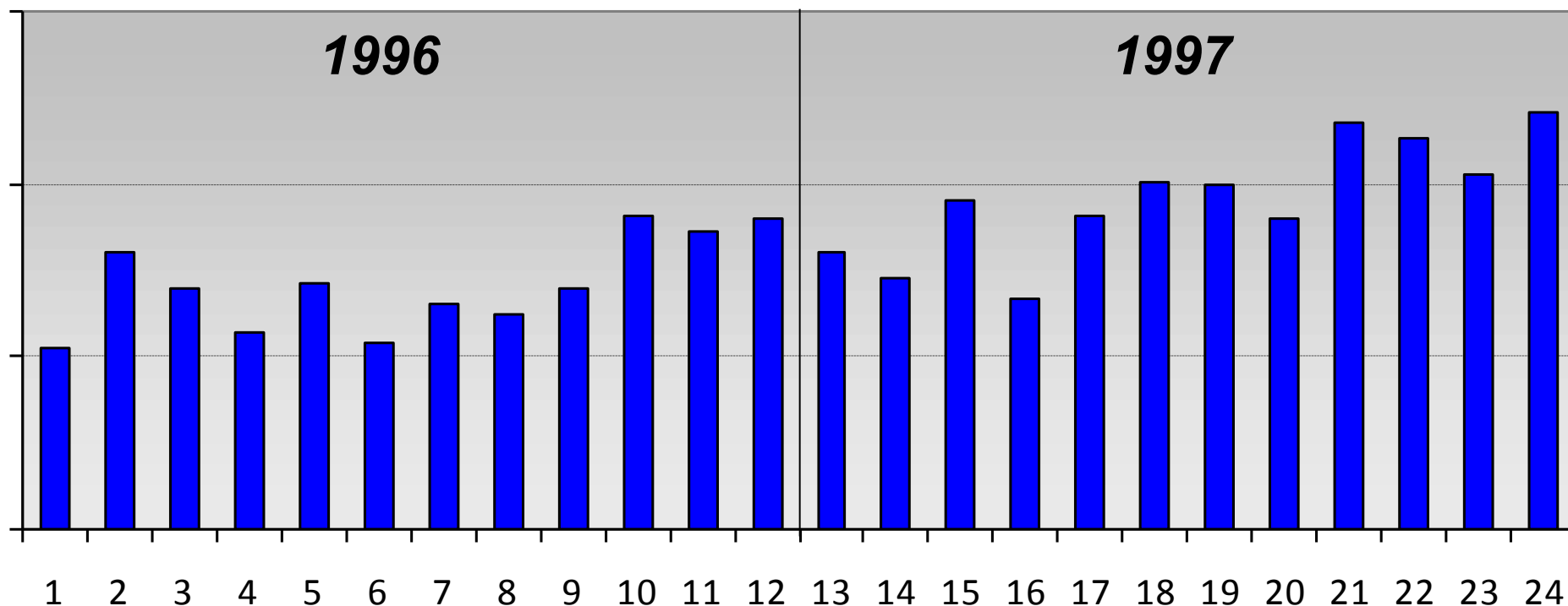
**b= 4,7 ⇒ TREND**

In EXCEL adottare la funzione: “ =INDICE (REGR.LIN (serie\_1;serie\_2); 1) ”

“ =INDICE (REGR.LIN (serie\_1;serie\_2); 2) ”



PER ELIMINARE EVENTUALI IRREGOLARITÀ PRESENTI NEI DATI DI DOMANDA, E' POSSIBILE UTILIZZARE LA MEDIA MOBILE

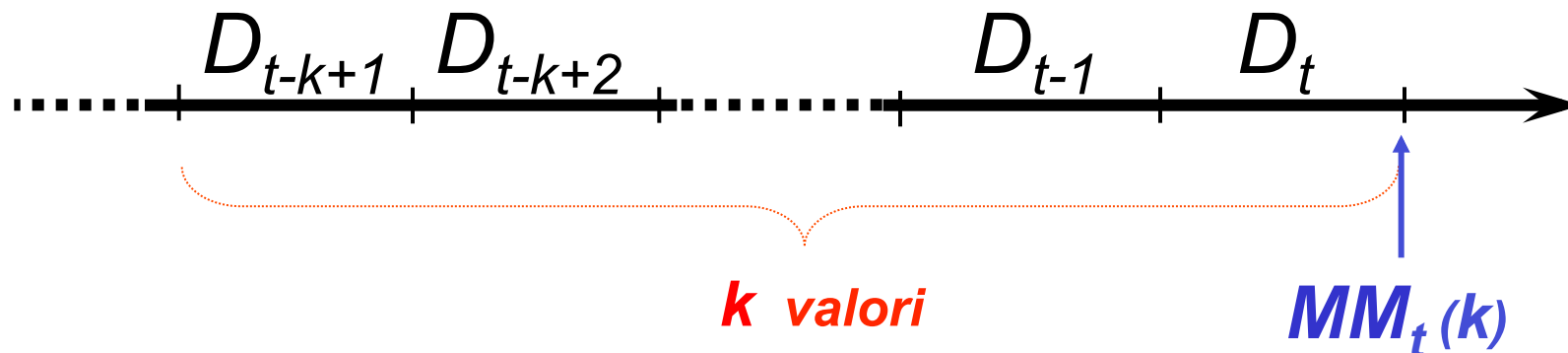


# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

Media Mobile

DATA UNA SERIE STORICA DI "N" TERMINI ( $D_t, D_{t-1}, D_{t-2}, \dots$ ), AL TERMINE DEL GENERICO PERIODO  $t$  E' POSSIBILE CALCOLARE IL VALORE PUNTUALE DELLA MEDIA MOBILE DI ORDINE "k":

$$MM_t(k) = \frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-k+1}}{k}$$

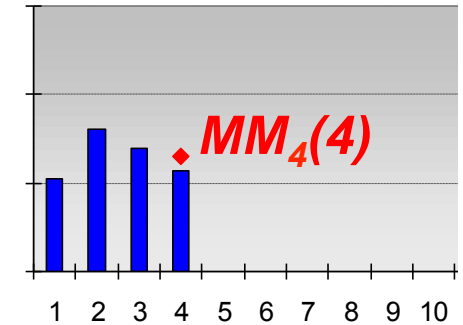


# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

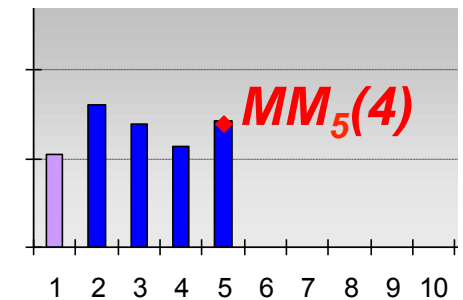
## Media mobile

SI APPLICA UNA MEDIA MOBILE ( $k=4$ ) ALLA SERIE STORICA CONSIDERATA

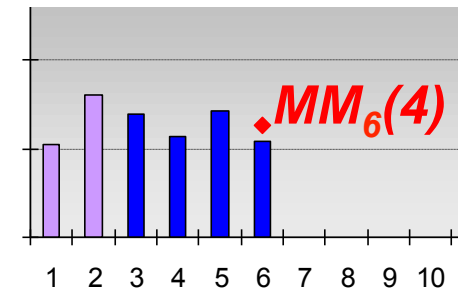
per il mese  $t=4$  : 
$$MM_4(4) = \frac{D_4 + D_3 + D_2 + D_1}{4}$$



per il mese  $t=5$  : 
$$MM_5(4) = \frac{D_5 + D_4 + D_3 + D_2}{4}$$

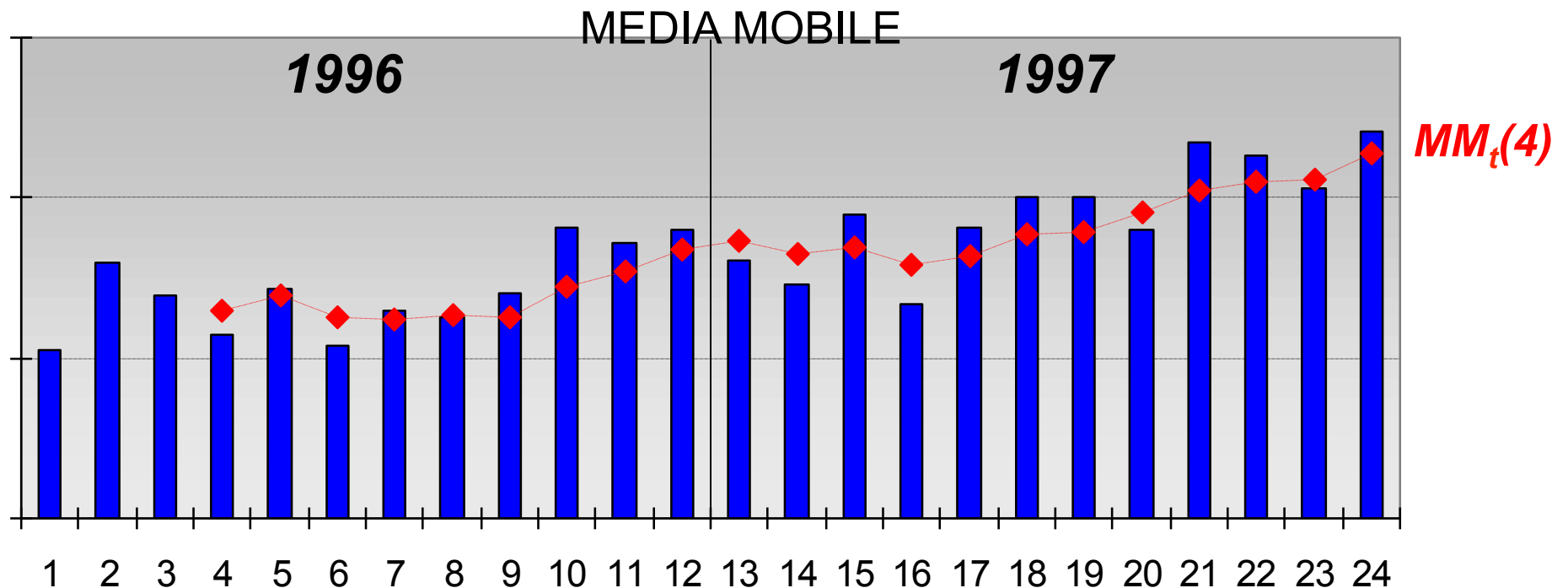


per il mese  $t=6$  : 
$$MM_6(4) = \frac{D_6 + D_5 + D_4 + D_3}{4}$$





PROSEGUENDO SINO ALL'ULTIMO PERIODO A  
DISPOSIZIONE, SI OTTIENE UNA SERIE DI " $N-k+1$ " VALORI DI



Nell'esempio considerato :  $N=24$ ,  $k=4$  → 21 valori di media mobile di ordine 4

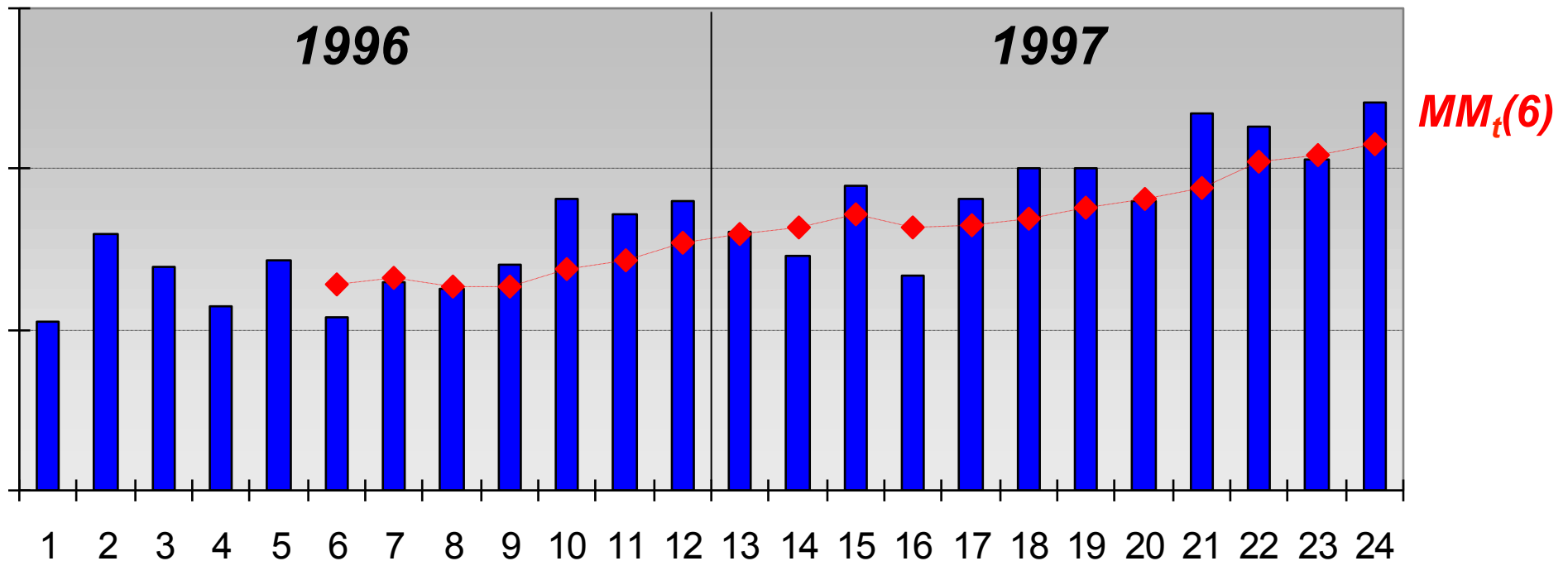




# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

*Media mobile*

IN ALTERNATIVA, OPERANDO UNA MEDIA MOBILE DI ORDINE  $k=6$ , SI OTTENGONO 19 VALORI DI MEDIA MOBILE



*MM<sub>t</sub>(6)*

Le irregolarità presenti nella serie storica originale vengono ora maggiormente filtrate



# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

*Media mobile*

NUMERICAMENTE SI OTTIENE :

mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Domanda	105	160	139	114	143	108	130	125	140	181	172	180
M.Mobile (4)	-	-	-	129,5	139	126	123,8	126,5	125,8	144	154,5	168,3
M.Mobile (6)	-	-	-	-	-	128,2	132,3	126,5	126,7	137,8	142,7	154,7
mese	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Domanda	161	146	190	134	182	201	200	180	235	226	206	242
M.Mobile (4)	173,5	164,8	169,3	157,8	163	176,8	179,3	190,8	204	210,3	211,8	227,3
M.Mobile (6)	159,8	163,3	171,7	163,8	165,5	169	175,5	181,2	188,7	204	208	214,8

N.B. All'aumentare dell'ordine "k" della media mobile, aumenta il filtraggio della serie ma si perde un numero maggiore di dati

## MEDIA MOBILE CENTRATA

Rappresenta la media aritmetica di  $k$  osservazioni tali che  $t$  sia il punto di mezzo dell'insieme degli istanti corrispondenti alle osservazioni (nell'ipotesi che  $k$  sia dispari).

$$MMC_t(k) = \frac{D_{t-(k-1)/2} + \dots + D_{t-1} + D_t + D_{t+1} + \dots + D_{t+(k-1)/2}}{k}$$

mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Domanda	105	160	139	114	143	108	130	125	140	181	172	180	161	146	190	134	182	201	200	180	235	226	206	242
MMC (5)	-	-	132	133	127	124	129	137	150	160	167	168	170	162	163	171	181	179	200	208	209	218	-	-



### MEDIA MOBILE CENTRATA

Se  $k$  è pari, si ricorre ad una duplice procedura ricorsiva, centrando il primo insieme di medie mobili di ordine  $k$  sui punti intermedi degli intervalli temporali e successivamente calcolando una media mobile di ordine  $k=2$  per “riallineare temporalmente” i valori

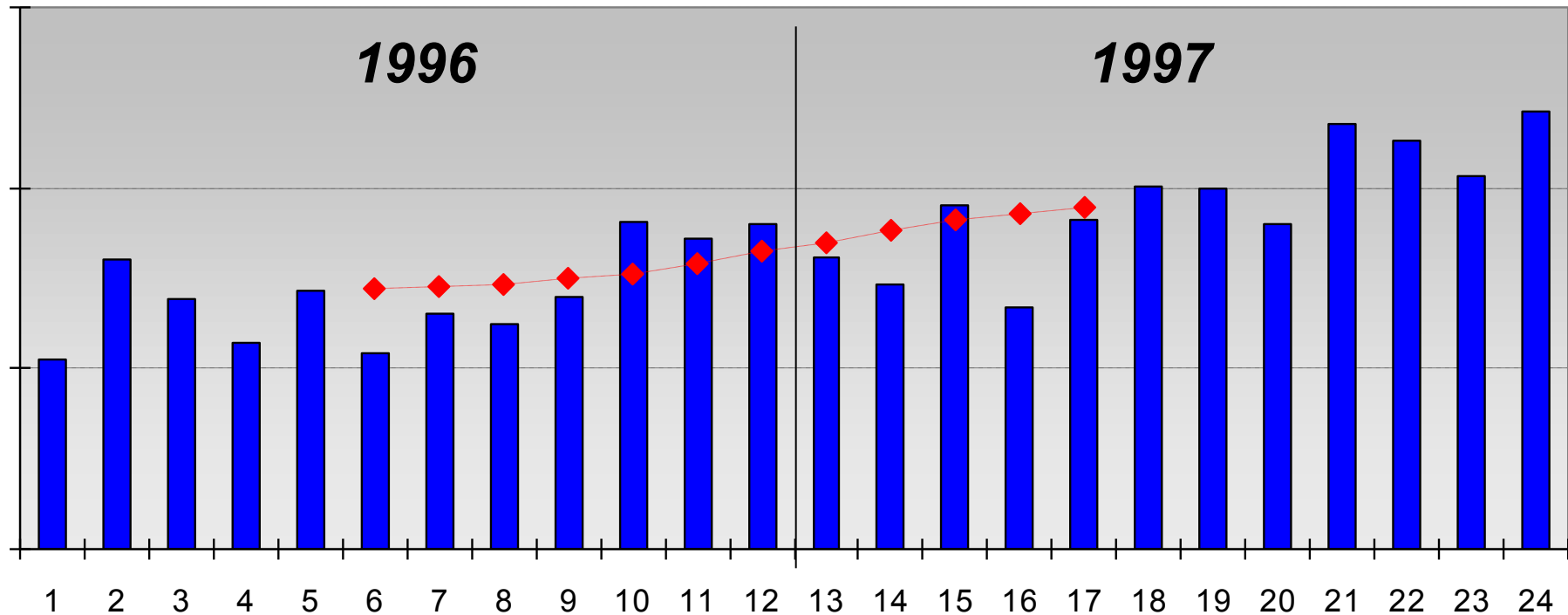
mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Domanda	105	160	139	114	143	108	130	125	140	181	172	180	161	146	190	134	182	201	200	180	235	226	206	242	
MM (6)				128	132	127	127	138	143	155	160	163	172	164	166	169	176	181	189	204	208	215			
MMC (2)	-	-	-	130	129	127	132	140	149	157	162	168	168	165	167	172	178	185	196	206	211	-	-	-	



# ANALISI DELLE SERIE STORICHE

*Media mobile*

SE LA SERIE STORICA E' AFFETTA DA STAGIONALITA', E' POSSIBILE EVIDENZIARNE IL TREND EFFETTUANDO UNA MEDIA MOBILE CENTRATA DI ORDINE " $k = L$ "

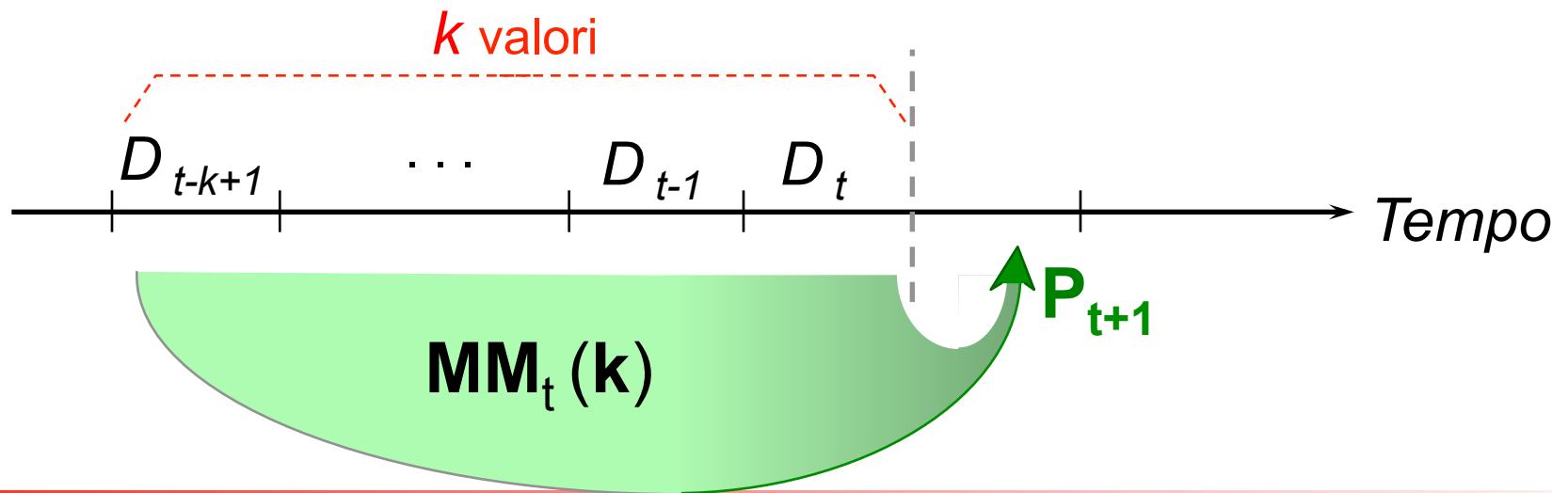


- nella media mobile rimangono le componenti di trend e irregolare
- si perdono la "testa" e la "coda"

## MEDIA MOBILE SEMPLICE

La media mobile può essere anche utilizzata per formulare previsioni nel caso di domanda stazionaria e non stagionale

$$P_{t+1} = MM_t(k)$$





# MEDIA MOBILE

*Modello previsionale*

ADOTTANDO IL MODELLO DI PREVISIONE A MEDIA MOBILE “ $k=6$ ”  
CON RIFERIMENTO ALLA SERIE STORICA IN ESAME, SI OTTIENE :

mese	1	2	3	4	5	6									
Domanda	105	160	139	114	143	108									
M-Mobile (6)	-	-	-	-	-	128,2									
Previsione							128,2	132,3	126,5	5,5	181,2	188,7	204,0	208,0	214,8



- i valori della previsione coincidono con quelli della media mobile di ordine “ $k$ ”, sfasati in avanti di un mese
- previsioni solamente per il periodo successivo ( $m=1$ )
- per  $k=1$  la previsione coincide con l’ultimo valore a disposizione



# INDICE

- ❑ il processo di pianificazione
- ❑ analisi delle serie storiche (trend e stagionalità)
- ❑ modelli basati sullo smorzamento esponenziale
- ❑ fasi del processo di implementazione
- ❑ monitoraggio delle previsioni (indicatori dell'errore)
- ❑ applicazioni numeriche



# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

*Modello di Brown*

DATA LA SERIE STORICA DI VALORI DELLA DOMANDA  $D_1, D_2, \dots, D_t$

LA PREVISIONE PER IL PERIODO  $t+1$  VALE :

$$P_{t+1} = \alpha \cdot D_t + (1-\alpha) \cdot P_t$$

$\alpha$  : COEFFICIENTE DI SMORZAMENTO ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )



LA PREVISIONE E' OTTENUTA DALLA MEDIA PONDERATA  
TRA IL VALORE ATTUALE  $D_t$  E LA PREVISIONE  
PRECEDENTE  $P_t$

# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

*Procedimento iterativo*

al periodo  $t$ :  $P_{t+1} = \alpha \cdot D_t + (1-\alpha) \cdot P_t$

al periodo  $t-1$ :  $P_t = \alpha \cdot D_{t-1} + (1-\alpha) \cdot P_{t-1}$

al periodo  $t-2$ :  $P_{t-1} = \alpha \cdot D_{t-2} + (1-\alpha) \cdot P_{t-2}$

---

sostituendo si ottiene:  $P_{t+1} = \alpha \cdot D_t + (1-\alpha) \cdot [ \alpha \cdot D_{t-1} + (1-\alpha) \cdot P_{t-1} ]$

$$P_{t+1} = \alpha \cdot D_t + \alpha \cdot (1-\alpha) \cdot D_{t-1} + (1-\alpha)^2 \cdot P_{t-1}$$



$$P_{t+1} = \alpha \cdot D_t + \alpha \cdot (1-\alpha) \cdot D_{t-1} + \alpha \cdot (1-\alpha)^2 \cdot D_{t-2} \dots + \alpha \cdot (1-\alpha)^i \cdot D_{t-i}$$

- Il modello di Brown (smorzamento semplice) risulta applicabile in assenza di trend e di stagionalità
- La previsione  $P_{t+1}$ 
  - appartiene all'intervallo  $\{D_t; P_t\}$
  - richiede solo 2 dati  $f(D_t, P_t)$
  - contiene tutti i dati storici  $(D_t, D_{t-1}, \dots, D_1)$  ponderati con valori decrescenti secondo una funzione esponenziale negativa
- Il valore di  $\alpha$  condiziona la reattività del modello previsionale

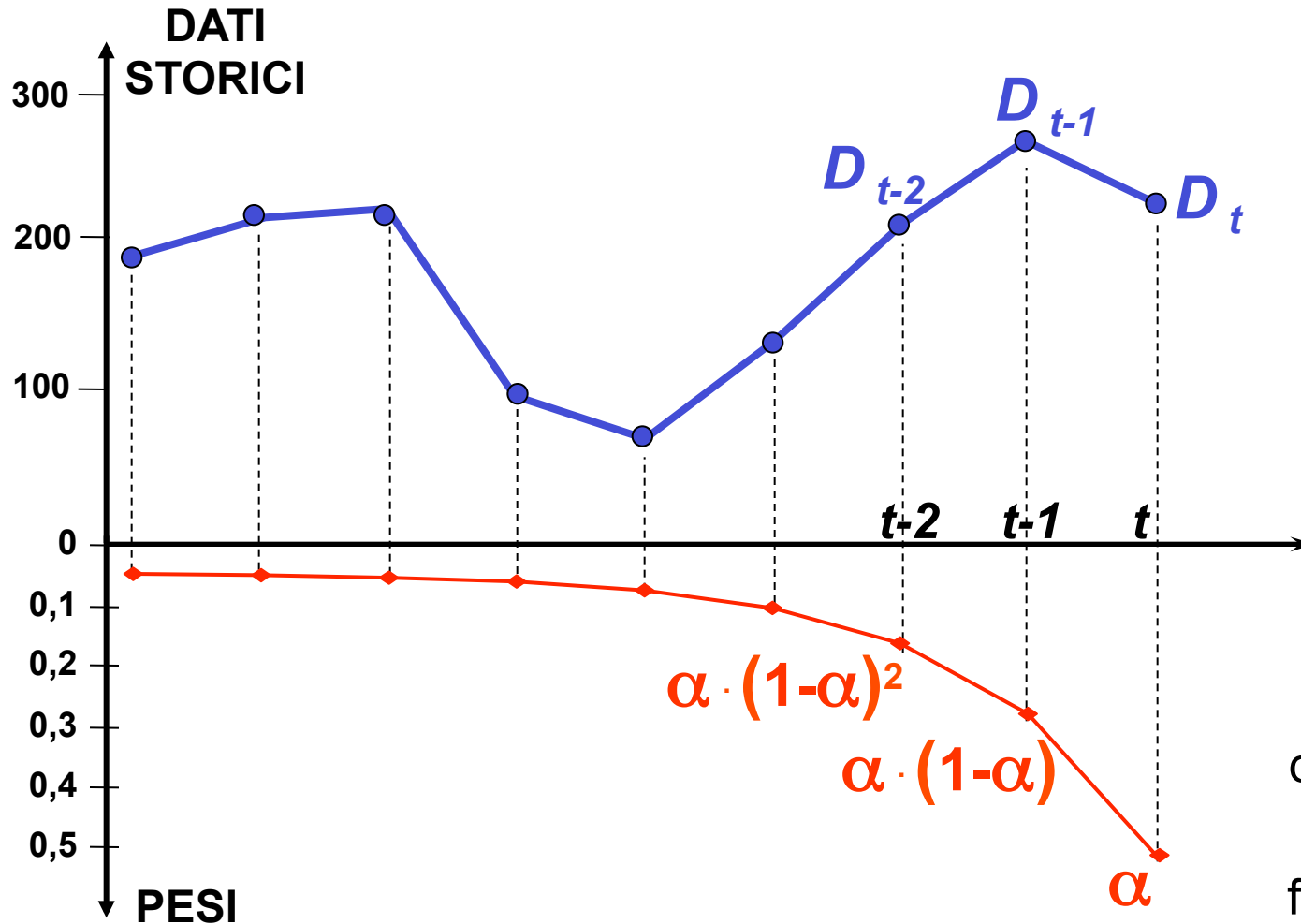


# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

Coefficiente di

smorzamento

Esempio:  $\alpha=0,5$



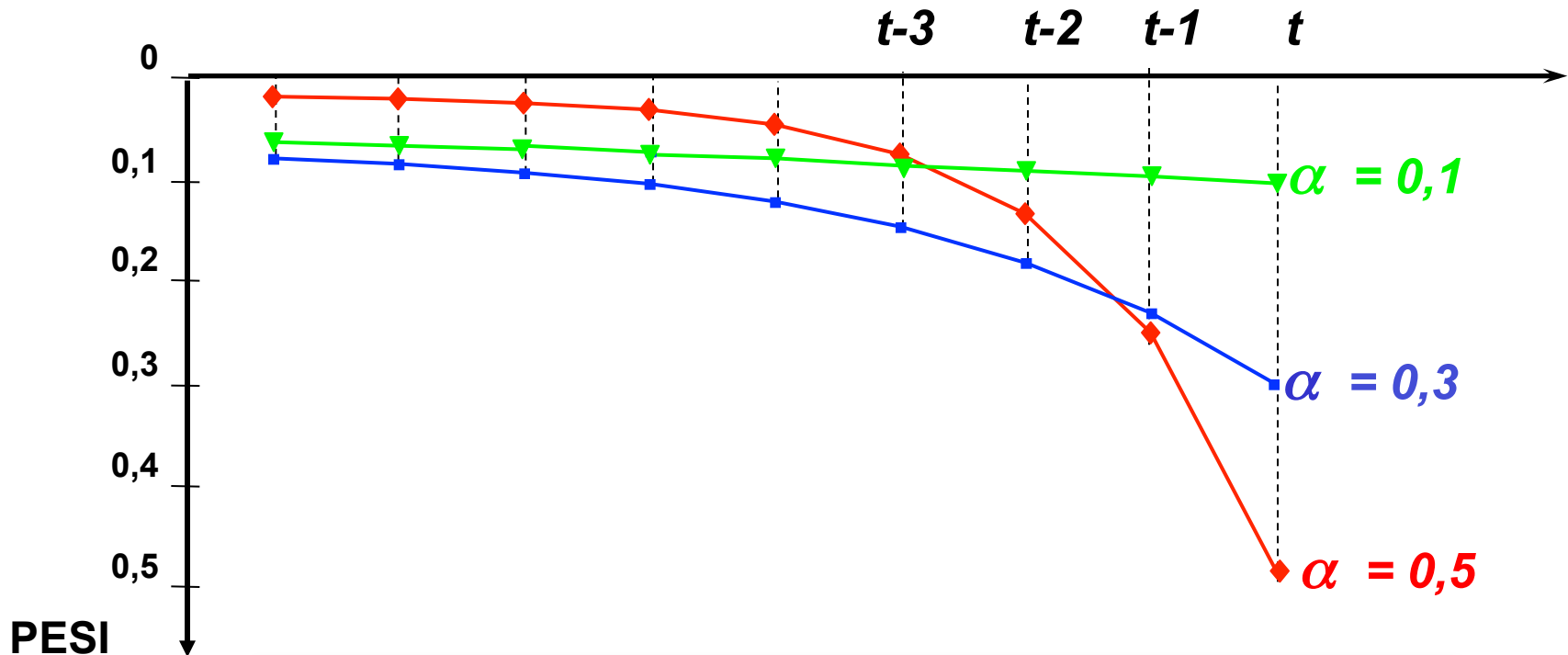
Ad ogni elemento della serie è attribuito un peso diverso in funzione dell'anzianità



# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

Coefficiente di  
smorzamento

LA SCELTA DEL VALORE DI  $\alpha$  AVVIENE ALL'INTERNO DEI LIMITI [0;1]



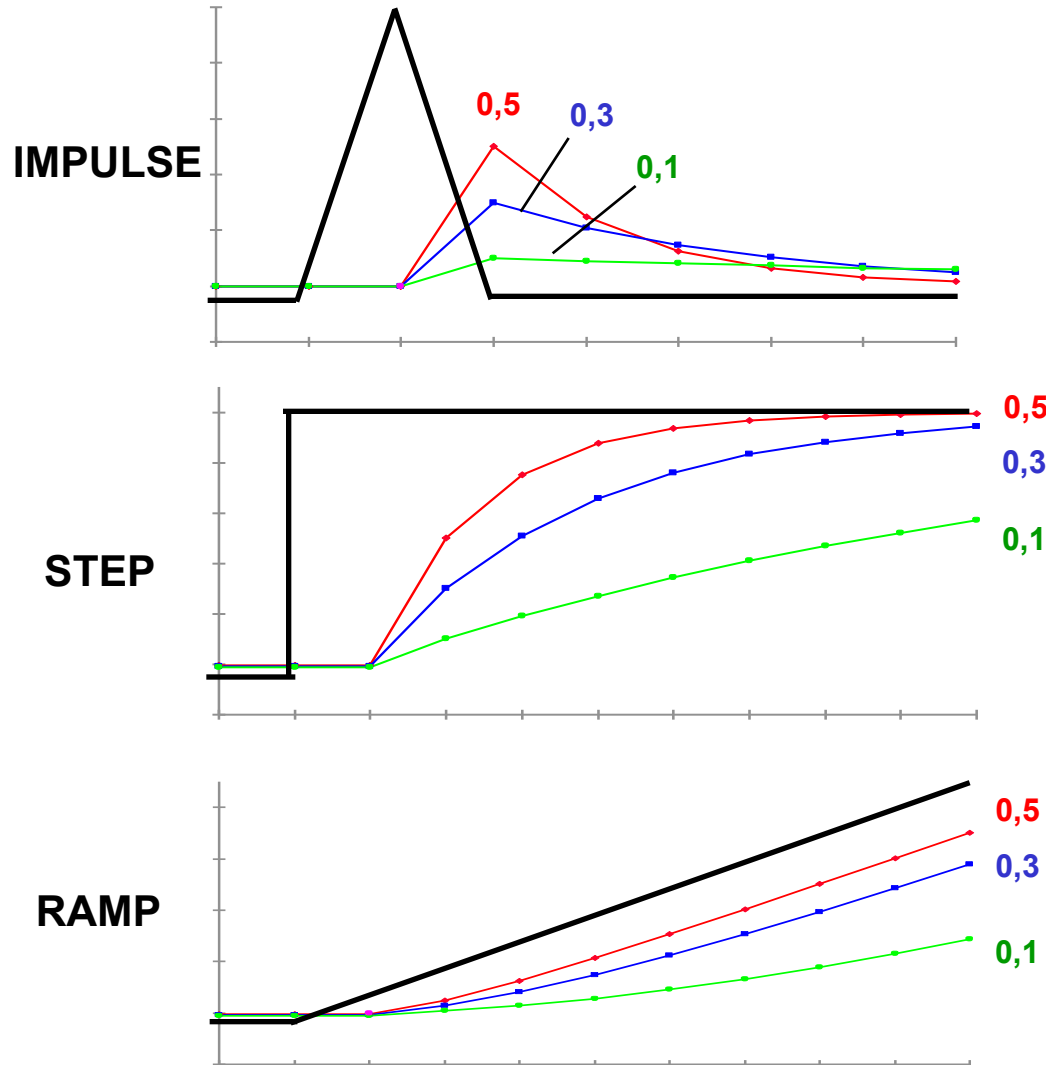
- $\alpha$  elevato : modello reattivo (> peso ai dati recenti)
- $\alpha$  basso : modello statico (> peso al passato)



# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

Coefficiente di

smorzamento



Risposta del modello di smorzamento esponenziale a segnali tipici in funzione del coefficiente di smorzamento

*Il ritardo nella risposta del modello semplice in presenza di una componente di trend :*

$$E = T / \alpha$$

$$P_{t+1} = \alpha \cdot D_t + (1-\alpha) \cdot P_t$$

## OSSERVAZIONI

- se  $\alpha = 1$  :  $P_{t+1} = D_t$
- se  $\alpha = 0$  :  $P_{t+1} = P_t$
- al periodo  $t=1$  :  $P_2 = \alpha \cdot D_1 + (1 - \alpha) \cdot P_{\text{iniziale}}$

**Esempio** : formulare le previsioni di vendita per la seguente serie storica

Domanda	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
1996	157	172	172	120	161	108	71	140	95	130	176	161
1997	139	146	190	135	182	186	177	68	168	98	75	116

UTILIZZANDO IL MODELLO PREVISIONALE DI BROWN, NEI DUE CASI :

$$\alpha=0,3 \quad \text{E} \quad \alpha=0,5$$

ADOPTARE COME VALORE INIZIALE DELLA PREVISIONE :

$$P_{iniziale} = 140$$





# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

Modello di Brown

E' NECESSARIO PROCEDERE NEL MODO SEGUENTE :

1996	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Domanda	157											
Previsione ( $\alpha= 0,3$ )	(140)	<b>145,1</b>										
Previsione ( $\alpha= 0,5$ )	(140)	<b>148,5</b>										

La previsione effettuata alla fine di gennaio per il mese di febbraio vale:

$$P_2 = \alpha \cdot D_1 + (1 - \alpha) \cdot P_{\text{iniziale}}$$

$$P_2 = 0,3 \cdot 157 + (1 - 0,3) \cdot 140$$

$$P_2 = 0,5 \cdot 157 + (1 - 0,5) \cdot 140$$



# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

*Modello di Brown*

UNA VOLTA AVVIATO, IL MODELLO ELABORA LE PREVISIONI MESE PER MESE :

1996	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Domanda	157	172										
Previsione ( $\alpha= 0,3$ )	(140)	<b>145,1</b>	<b>153,2</b>									
Previsione ( $\alpha= 0,5$ )	(140)	<b>148,5</b>	<b>160,3</b>									

*La previsione effettuata alla fine di febbraio per il mese di marzo vale:*

$$P_3 = \alpha \cdot D_2 + (1 - \alpha) \cdot P_2$$

$$P_3 = 0,3 \cdot 172 + (1 - 0,3) \cdot 145,1$$

$$P_3 = 0,5 \cdot 172 + (1 - 0,5) \cdot 148,5$$



# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

*Modello di Brown*

PROCEDENDO IN QUESTO MODO E' POSSIBILE RICAVARE LE PREVISIONI PER TUTTI I 24 MESI DELLA SERIE STORICA

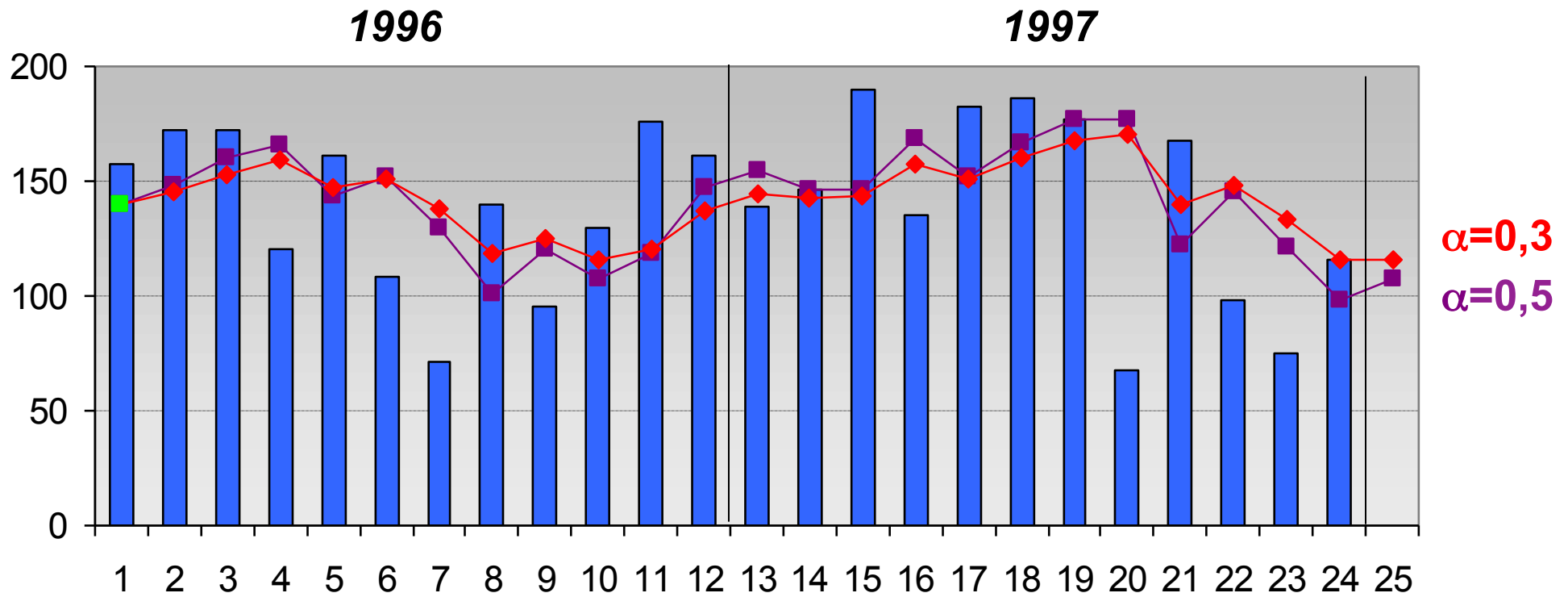
1996	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Domanda	157	172	172	120	161	108	71	140	95	130	176	161
Previsione ( $\alpha= 0,3$ )	(140)	145,1	153,2	158,8	147,2	151,3	138,3	118,1	124,7	115,8	120,0	136,8
Previsione ( $\alpha= 0,5$ )	(140)	148,5	160,3	166,1	143,1	152,0	130,0	100,5	120,3	107,6	118,8	147,4
1997	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Domanda	139	146	190	135	182	186	177	68	168	98	75	116
Previsione ( $\alpha= 0,3$ )	144,1	142,6	143,6	157,5	150,8	160,1	167,9	170,6	139,8	148,3	133,2	115,7
Previsione ( $\alpha= 0,5$ )	154,2	146,6	146,3	168,2	151,6	166,8	176,4	176,7	122,3	145,2	121,6	98,3



# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

*Modello di Brown*

PROCEDENDO IN QUESTO MODO E' POSSIBILE RICAVARE LE PREVISIONI PER TUTTI I 2 ANNI A DISPOSIZIONE E PER IL GENNAIO 1998



AL TERMINE DEL PERIODO  $t$  E' POSSIBILE CALCOLARE LA PREVISIONE PER IL GENERICO PERIODO FUTURO  $t+m$  :

$$P_{t+m} = M_t + m \cdot T_t$$

**m** : ORIZZONTE DI PREVISIONE



LA PREVISIONE E' OTTENUTA A PARTIRE DAL VALORE DELLA MEDIA SMORZATA  $M_t$ , CORRETTA MEDIANTE IL TREND SMORZATO  $T_t$  E IL RELATIVO ORIZZONTE PREVISIONALE  $m$

## ● SMORZAMENTO ESPONENZIALE

*Modello di Holt*

AL TERMINE DEL PERIODO  $t$ , DISPONENDO DEL NUOVO DATO DI DOMANDA, SI AGGIORNANO I VALORI DI MEDIA E TREND SMORZATO:

$$\text{Media: } M_t = \alpha \cdot D_t + (1 - \alpha) \cdot (M_{t-1} + T_{t-1})$$

$$\text{Trend: } T_t = \gamma \cdot (M_t - M_{t-1}) + (1 - \gamma) \cdot T_{t-1}$$

$\alpha, \gamma$  : COEFFICIENTI DI SMORZAMENTO  $(0 \leq \alpha, \gamma \leq 1)$



LE RELAZIONI DI AGGIORNAMENTO DELLA MEDIA E DEL TREND SEGUONO IL PRINCIPIO DELLO SMORZAMENTO ESPONENZIALE

- Il modello di Holt si applica in presenza di trend e per domande non stagionali (o preventivamente destagionalizzate)
- La previsione  $P_{t+m}$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{Richiede 3 dati } \mathbf{f}(D_t, M_{t-1}, T_{t-1}) \\ \text{contiene tutti i dati storici } (D_t, D_{t-1}, \dots, D_1) \\ \text{ponderati con valori decrescenti} \end{array} \right.$
- Il valore di  $\alpha$  e  $\gamma$  condizionano la reattività del modello previsionale
- All'aumentare di  $m$  diminuisce l'accuratezza delle previsioni

AL TERMINE DEL PERIODO  $t$  E' POSSIBILE CALCOLARE LA PREVISIONE PER IL GENERICO PERIODO FUTURO  $t+m$  :

$$P_{t+m} = (M_t + m \cdot T_t) \cdot S_{t-L+m}$$

**$m$**  : ORIZZONTE DI PREVISIONE



LA PREVISIONE E' OTTENUTA A PARTIRE DAL VALORE DELLA MEDIA SMORZATA  $M_t$ , CORRETTA MEDIANTE IL TREND SMORZATO  $T_t$  E IL RELATIVO ORIZZONTE PREVISIONALE  $m$



# SMORZAMENTO ESPONENZIALE

*Modello di Winters*

AL TERMINE DEL PERIODO  $t$ , SI AGGIORNANO I VALORI DI MEDIA E TREND e STAGIONALITÀ:

$$\text{Media: } M_t = \alpha \cdot D_t / S_{t-L} + (1 - \alpha) \cdot (M_{t-1} + T_{t-1})$$


$$\text{Trend: } T_t = \gamma \cdot (M_t - M_{t-1}) + (1 - \gamma) \cdot T_{t-1}$$

$$\text{Stagionalità: } S_t = \beta \cdot D_t / M_t + (1 - \beta) \cdot S_{t-L}$$

$\alpha, \beta, \gamma$  : COEFFICIENTI DI SMORZAMENTO ( $0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1$ )



LE RELAZIONI DI AGGIORNAMENTO DELLA MEDIA E DEL TREND SEGUONO IL PRINCIPIO DELLO SMORZAMENTO ESPONENZIALE

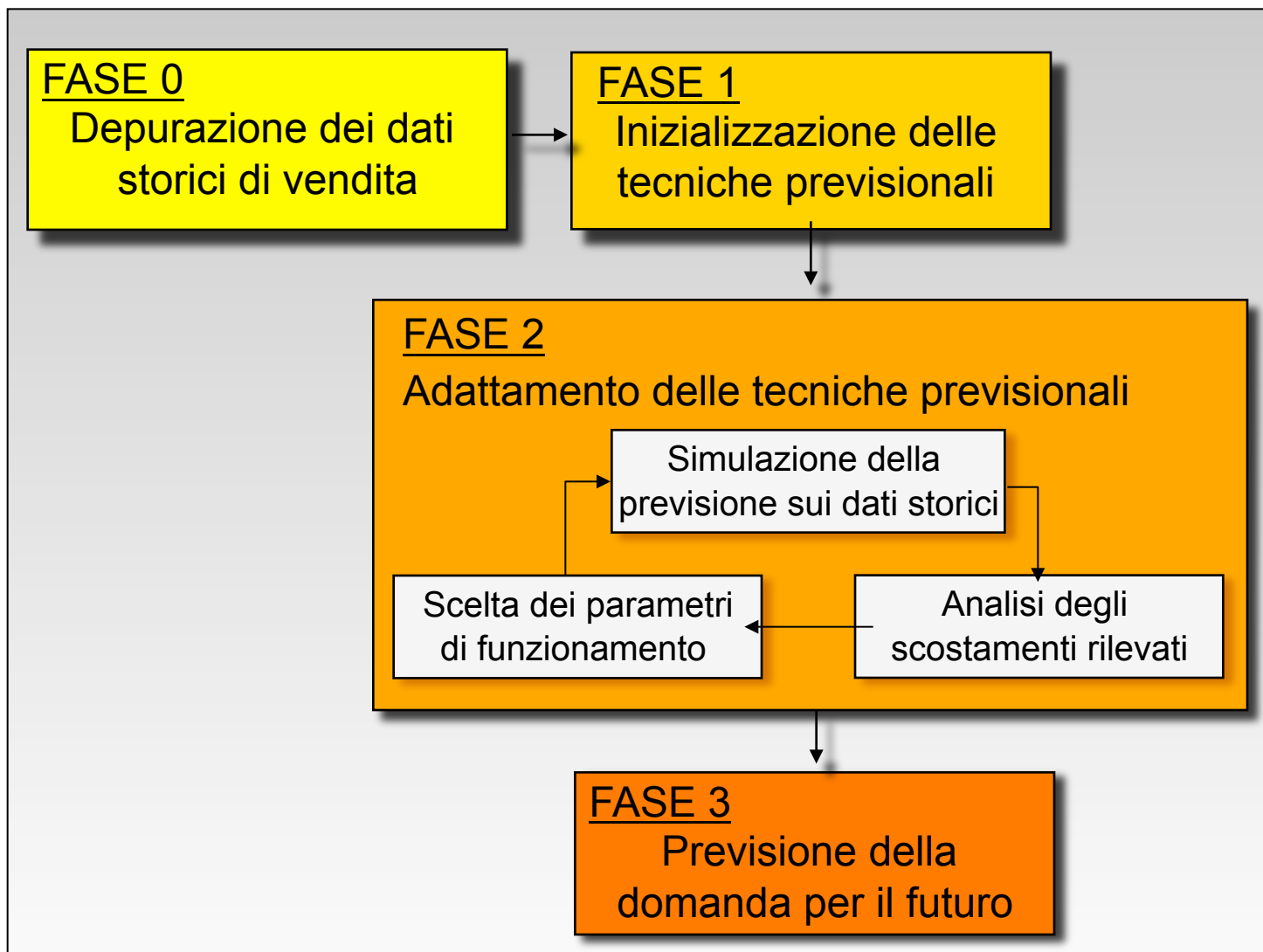
- Il modello di Winters si applica in presenza di trend e stagionalità
- La previsione  $P_{t+m}$   Richiede 4 dati  $f(D_t, M_{t-1}, T_{t-1}, S_{t+m-L})$  contiene tutti i dati storici  $(D_t, D_{t-1}, \dots, D_1)$  ponderati con valori decrescenti
- Il valore di  $\alpha, \beta, \gamma$  condizionano la reattività del modello
- All'aumentare di  $m$  diminuisce l'accuratezza delle previsioni



# INDICE

- ❑ il processo di pianificazione
- ❑ analisi delle serie storiche (trend e stagionalità)
- ❑ modelli basati sullo smorzamento esponenziale
- ❑ fasi del processo di implementazione
- ❑ monitoraggio delle previsioni (indicatori dell'errore)
- ❑ applicazioni numeriche

# ● SCHEMA GENERALE DI IMPLEMENTAZIONE

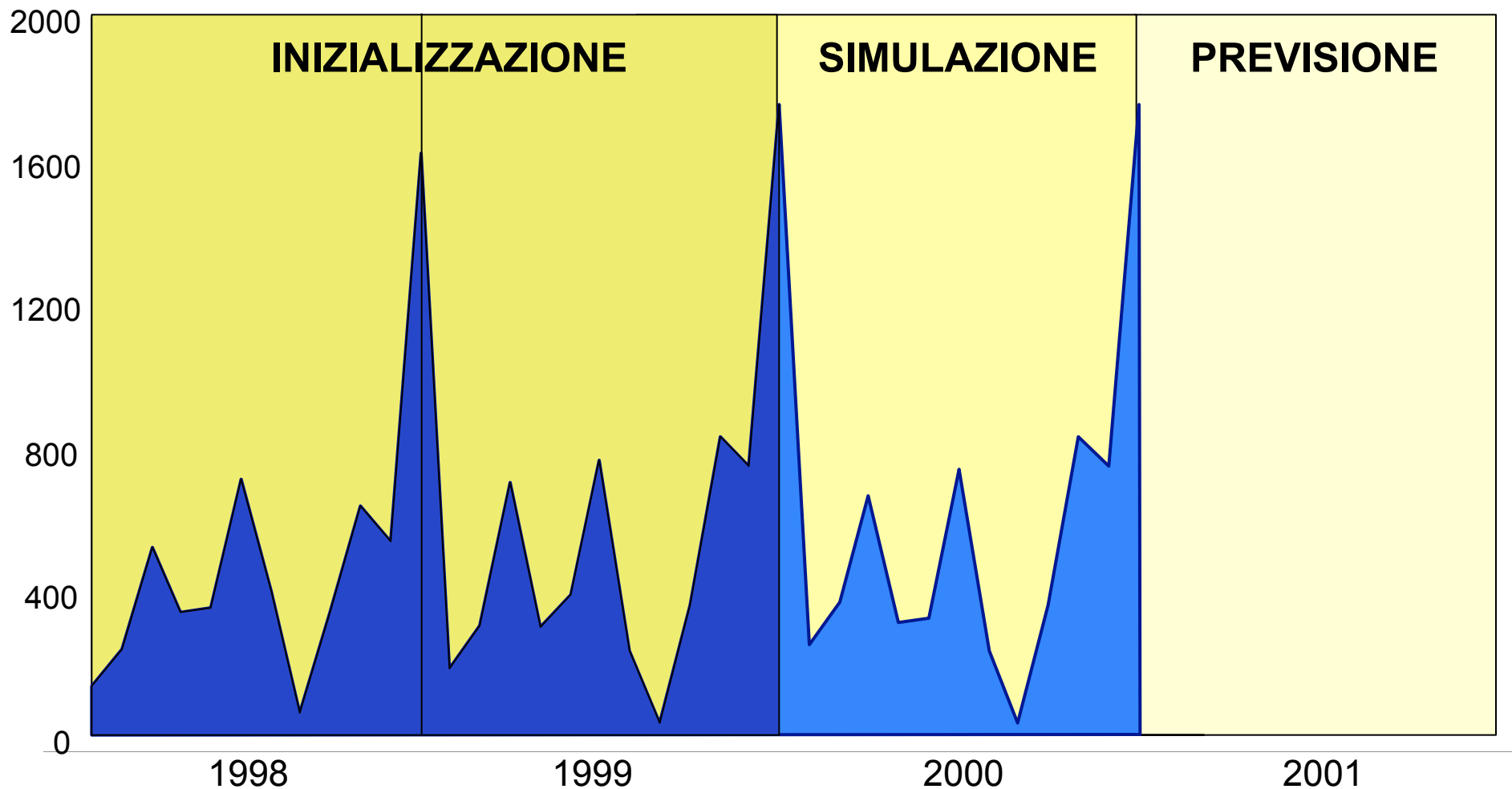


*Almeno 2 anni se la domanda è stagionale (ovvero 2 cicli di stagionalità)*

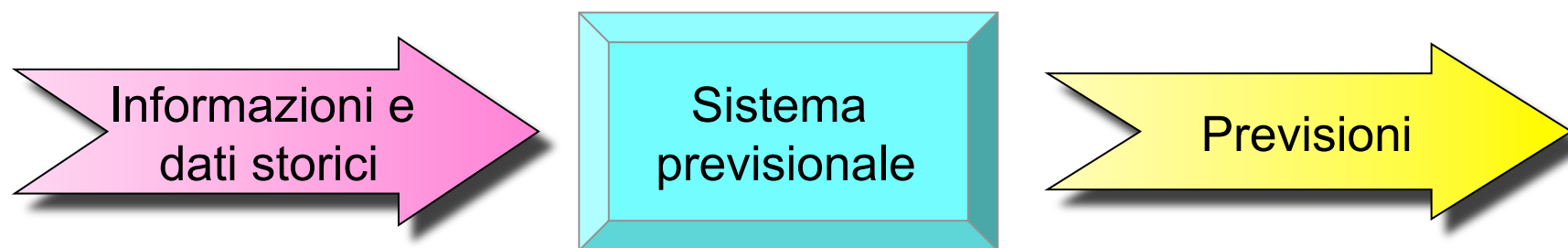
*1 anno (ovvero un ciclo di stagionalità)*

*6 mesi - 1 anno*

# ● FASI TEMPORALI DI ANALISI DELLE SERIE STORICHE



QUALSIASI MODELLO DI ESTRAPOLAZIONE DELLE SERIE STORICHE PROIETTA NEL FUTURO UNA PREVISIONE CHE E' BASATA SULLE SOLE COMPONENTI PREVEDIBILI  $\Rightarrow$  NECESSITÀ DI DEPURARE LA SERIE DEI DATI



- La qualità dei risultati previsionali dipende dalla qualità dei dati di input (*GI-GO : Garbage In - Garbage Out*)
- Qualsiasi sia il modello statistico utilizzato, ad un dato errato o non coerente corrisponderà sempre una previsione poco accurata

E' NECESSARIO DEFINIRE I VALORI INIZIALI DELLE RELAZIONI RICORSIVE DEI MODELLI DI SMORZAMENTO ESPONENZIALE :

$$\text{Brown : } P_{t+1} = \alpha \cdot D_t + (1 - \alpha) \cdot P_t$$

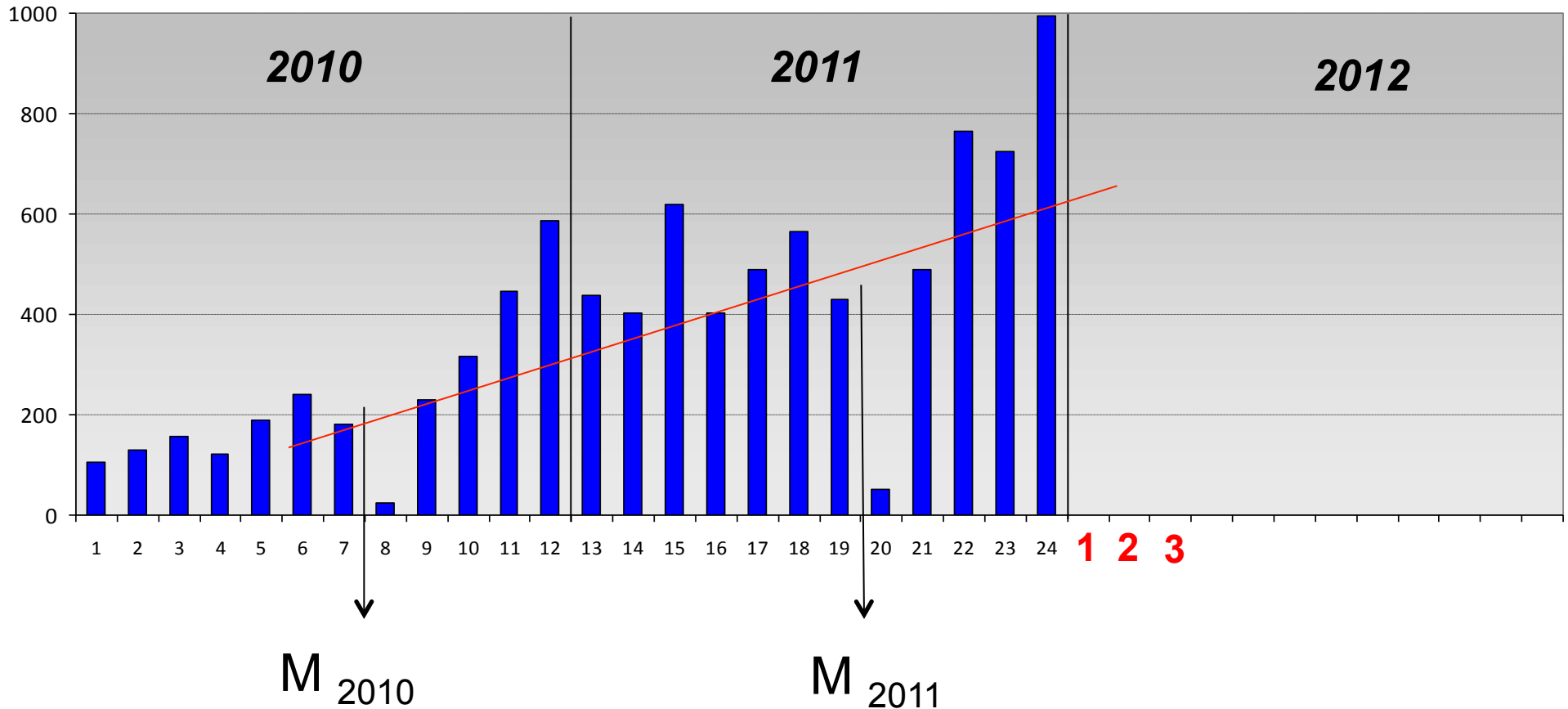
$$\text{Holt : } M_t = \alpha \cdot D_t + (1 - \alpha) \cdot (M_{t-1} + T_{t-1})$$

$$\text{Winters : } M_t = \alpha \cdot \frac{D_t}{S_{t-L}} + (1 - \alpha) \cdot (M_{t-1} + T_{t-1})$$



# IMPLEMENTAZIONE

Fase 1. Inizializzazione



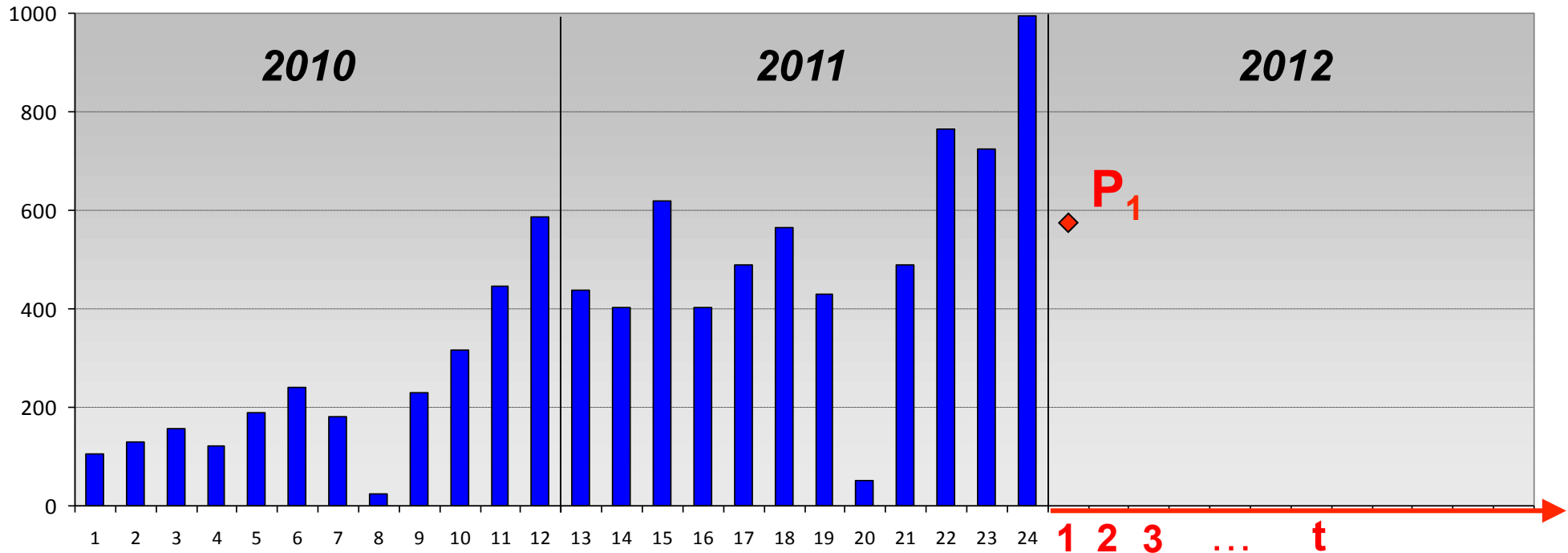


$$T_{(t=0)} = (M_{2011} - M_{2010}) / 12$$

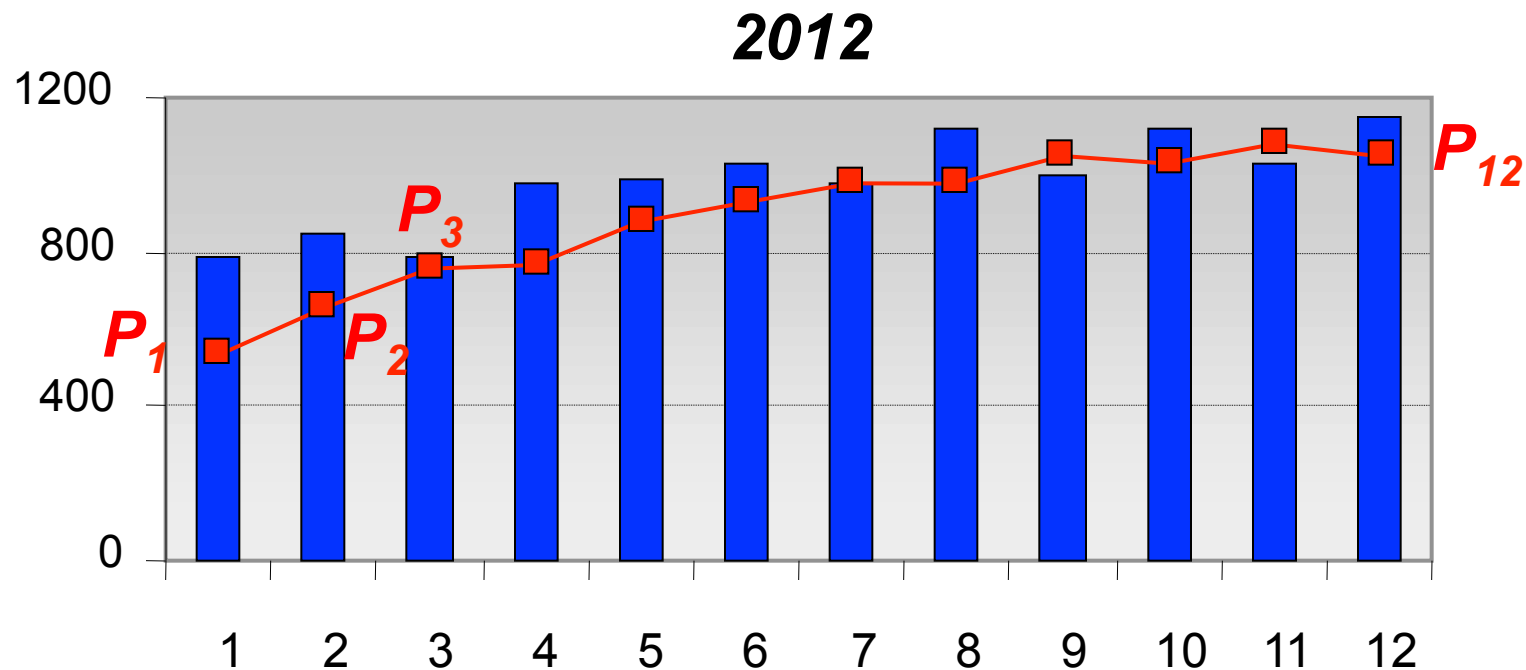
$$M_{(t=0)} = M_{2011} + 12/2 T_{(t=0)}$$

$$S_{(t=0), \text{gen}} = (S_{\text{gen}2011} + S_{\text{gen}2010}) / 2$$

UNA VOLTA DEFINITI I VALORI INIZIALI DELLE PRINCIPALI VARIABILI DEL MODELLO, E' POSSIBILE "AVVIARE" IL PROCEDIMENTO PREVISIONALE A PARTIRE DAL PRIMO PERIODO A DISPOSIZIONE (nell'esempio : gennaio 2012)



DOPO AVER “SIMULATO” LE PREVISIONI PER TUTTO IL 2012 (12 VALORI DI PREVISIONE), SI POSSONO ANALIZZARE GLI SCOSTAMENTI TRA LA DOMANDA EFFETTIVAMENTE VERIFICATASI E LA RELATIVA PREVISIONE





# INDICE

- ❑ il processo di pianificazione
- ❑ analisi delle serie storiche (trend e stagionalità)
- ❑ modelli basati sullo smorzamento esponenziale
- ❑ fasi del processo di implementazione
- ❑ monitoraggio delle previsioni (indicatori dell'errore)
- ❑ applicazioni numeriche

# ● IL MONITORAGGIO DELLE PREVISIONI

IN QUALSIASI PROCESSO PREVISIONALE IL SISTEMA DI  
MONITORAGGIO NE RAPPRESENTA UNA DELLE COMPONENTI  
FONDAMENTALI

**LE POSSIBILE  
CAUSE DI  
SCOSTAMENTO**

- sono cambiati dei legami o dei rapporti tra le variabili interne al modello
- sono emerse delle nuove variabili esplicative
- si sono modificate alcune componenti del modello
- sono sopraggiunti degli eventi particolari o anomali

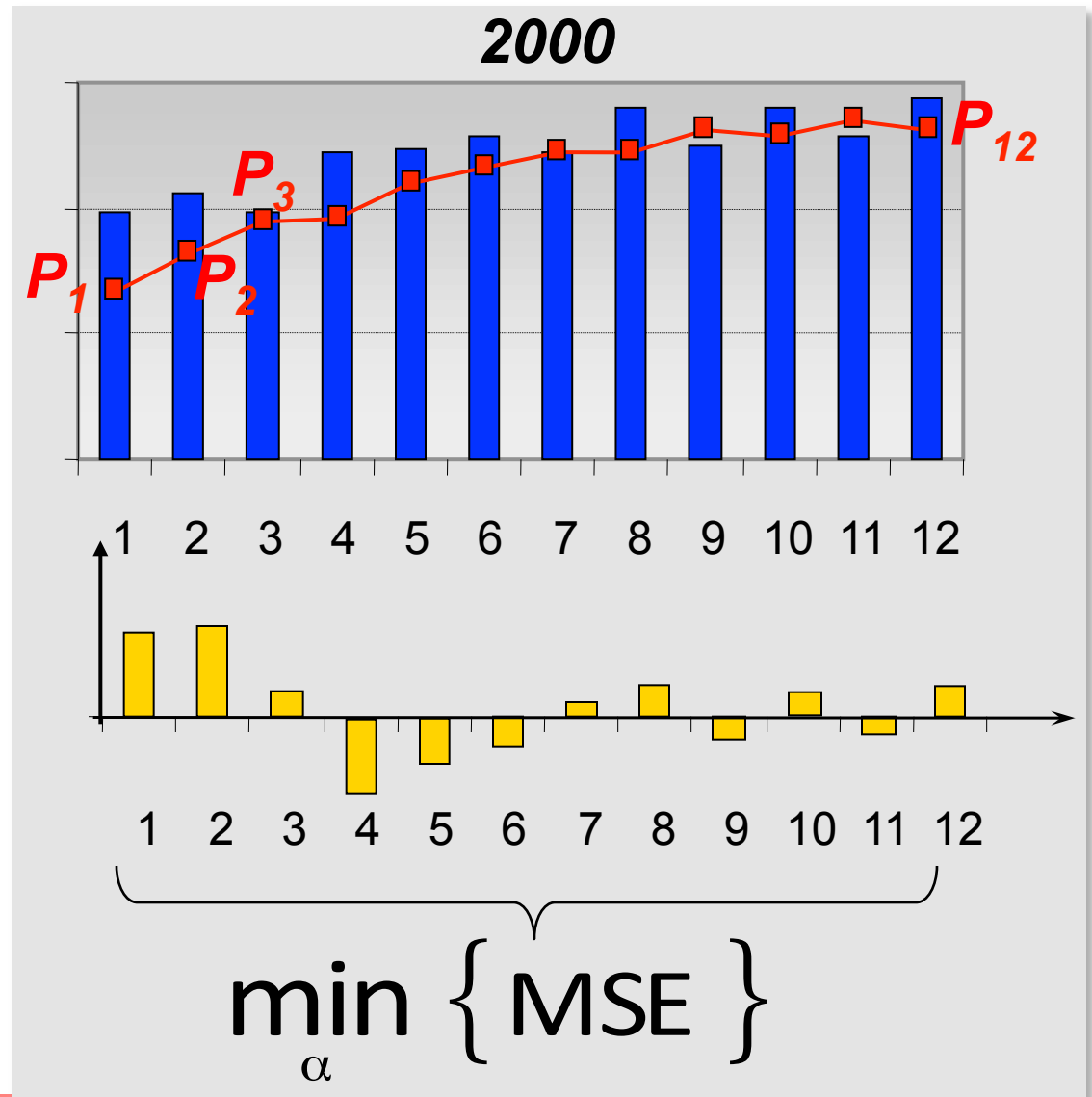
# IMPLEMENTAZIONE

## Fase 2. Simulazione

L'errore di previsione per il periodo  $t$  è definito come differenza tra il valore effettivo della domanda ed il valore previsto per quel periodo



$$E_t = D_t - P_t$$





# MONITORAGGIO DELLE PREVISIONI

*Indicatori dell'errore*

LE CARATTERISTICHE DI UN BUON SISTEMA DI CONTROLLO DEGLI ERRORI PREVISIONALI DEVE BASARSI SUI SEGUENTI PRESUPPOSTI:

***semplicità***

***sinteticità***

***flessibilità***

**INDICATORI STATISTICI  
DELL'ERRORE**

- DISTORSIONE : **ME**

- CONSISTENZA : **MAD, MAPE, MSE, SDE**



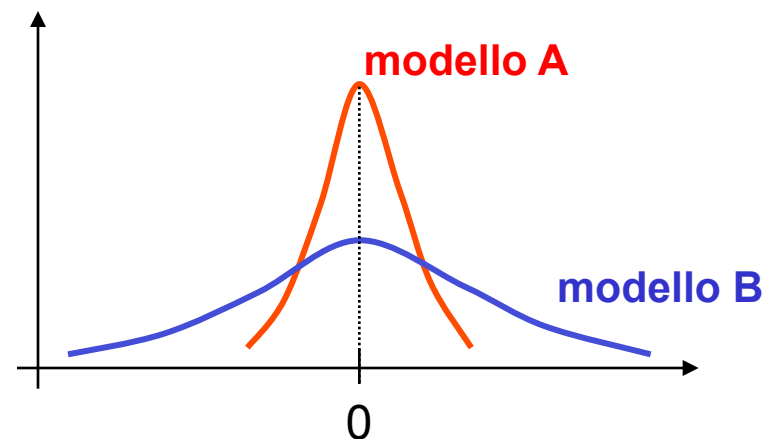
## ME (Mean Error) : ERRORE MEDIO

$$ME = \frac{\sum_{t=1}^n E_t}{n}$$

➤ indica se l'errore è mediamente in eccesso o in difetto (*BIAS*) :

$$ME < 0 \Rightarrow DM < PM$$

$$ME > 0 \Rightarrow DM > PM$$







## MAD (Mean Absolute Deviation) : SCARTO MEDIO

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{t=1}^n |E_t|}{n}$$

- misura la consistenza degli errori in valore assoluto
- gli errori di segno opposto non si autocompensano
- non consente di cogliere la correlazione degli errori



**MAPE (Mean Absolute % Error): ERRORE ASSOLUTO MEDIO %**

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|E_t|}{D_t}}{n} \times 100$$

- consente di confrontare serie di valori differenti su scala percentuale
- a parità di errore in valore assoluto, il MAPE penalizza maggiormente gli errori commessi in periodi a bassa domanda
- perde significato se la serie presenta valori di domanda nulli



## MSE (Mean Square Error) : ERRORE QUADRATICO MEDIO

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{t=1}^n (E_t)^2}{n}$$

- penalizza maggiormente gli errori elevati in valore assoluto
- fornisce indicazioni simili allo SDE
- l'unità di misura risultante è poco pratica (unità al quadrato)

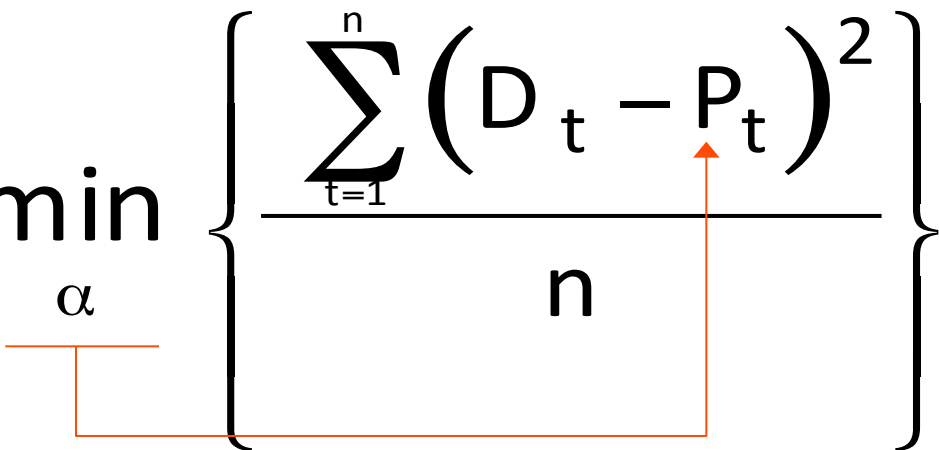
## SDE (Standard Deviation of Errors) : DEVIAZIONE STD ERRORI

$$\text{SDE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (E_t)^2}{n-1}}$$

- fa riferimento ad un campione di  $n$  osservazioni (il termine  $n-1$  rappresenta il numero di gradi di libertà ovvero il numero di dati della serie storica che sono indipendenti tra loro)
- è fondamentale per il dimensionamento delle scorte di

### STIMA DEI COEFFICIENTI OTTIMALI DI SMORZAMENTO

La scelta dei coefficienti di smorzamento  $\alpha$  avviene minimizzando la serie degli scarti quadratici degli errori rilevati negli ultimi  $n$  periodi

$$\min \{ \text{MSE} \} \Rightarrow \min_{\alpha} \left\{ \frac{\sum_{t=1}^n (D_t - P_t)^2}{n} \right\}$$




Le previsioni dipendono dal coefficiente di smorzamento  $\alpha$

NEL CASO CONSIDERATO SI PUÒ PROCEDERE IN QUESTO MODO:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\alpha = 0,3$	
2	Domanda	785	850	786	978	988	1027	977	1120	1002	1123	1024	1150		
3	Previsione	530	658	754	770	874	931	979	978	1049	1025	1074	1049		
4	Errore	255	192	32	208	114	96	-2	142	-47	98	-50	101	95	ME
5	Errore <sup>2</sup>	65025	36864	1024	43264	12996	9216	4	20164	2209	9604	2500	10201	17756	MSE

In EXCEL : " = C2 - C3 "

In EXCEL : " = G4^2 "

In EXCEL : " = MEDIA ( B5 : M5 )"

# IMPLEMENTAZIONE

## Fase 2. Adattamento

In EXCEL lanciare l'applicazione "RISOLUTORE" dal menù "STRUMENTI"

**Parametri del Risolutore**

Imposta cella:

Uguale a:  Max  Min  Valore di:

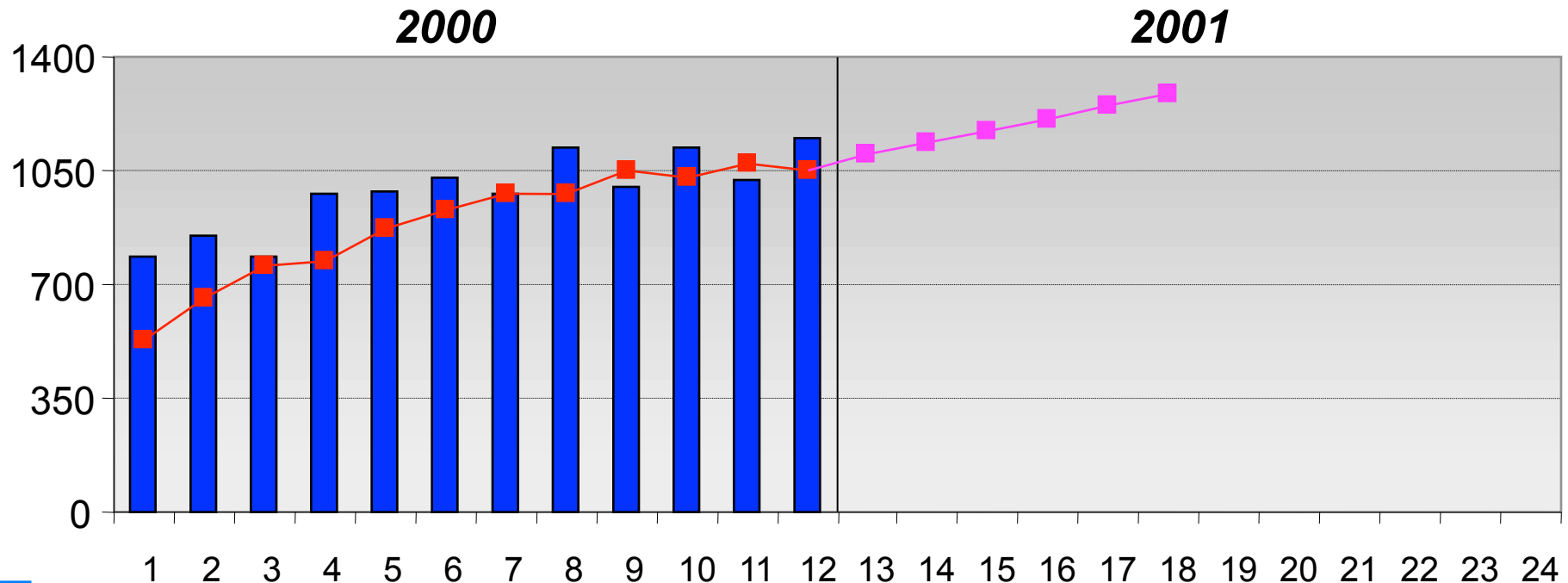
Cambiando le celle:

Vincoli:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\alpha =$ 0,3	
2	Domanda	785	850	786	978	988	1027	977	1120	1002	1123	1024	1150		
3	Previsione	530	658	754	770	874	931	979	978	1049	1025	1074	1049		
4	Errore	255	192	32	208	114	96	-2	142	-47	98	-50	101	95	ME
5	Errore <sup>2</sup>	65025	36864	1024	43264	12996	9216	4	20164	2209	9604	2500	10201	17756	MSE

INFINE, SULLA BASE DEI RISULTATI DELLA SIMULAZIONE CONDOTTA NELLA FASE PRECEDENTE, E' POSSIBILE PROIETTARE NEL FUTURO LE

### PREVISIONI



Alla fine del periodo di simulazione vengono generate le previsioni per i prossimi 6 mesi (con la configurazione ottimale del modello di previsione)



# IMPLEMENTAZIONE

Fase 3. Previsione

## AZIONI SPECIALI

*(politiche di marketing, offerte speciali, campagne di vendita, promozioni, ...)*

$A_{t+m}$

## EFFETTI DI CALENDARIO

*(festività mobili, giorni lavorativi, ...)*

$S'_{t+m}$

## ALTRE INFORMAZIONI

*(commesse particolari, andamento del mercato, azioni della concorrenza, ...)*

$K_{t+m}$

$$\tilde{P}_{t+m} = P_{t+m} \cdot S'_{t+m} \cdot A_{t+m} + K_{t+m}$$