

**ESEMPIO 6.1** Calcolare le misure di errore nelle previsioni

La tabella seguente mostra le vendite effettive di sedie imbottite per un mobilificio e le previsioni effettuate per ciascuno degli ultimi otto mesi. Calcolate la CFE, il MSE, la  $\sigma$ , la MAD e il MAPE per questo prodotto.

| Mese<br>$t$ | Domanda<br>$D_t$ | Previsione<br>$F_t$ | Errore<br>$E_t$ | Errore al quadrato<br>$E_t^2$ | Errore assoluto<br>$ E_t $ | Errore % assoluto<br>$( E_t  / D_t)(100)$ |
|-------------|------------------|---------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
| 1           | 200              | 225                 | -25             | 625                           | 25                         | 12,5                                      |
| 2           | 240              | 220                 | 20              | 400                           | 20                         | 8,3                                       |
| 3           | 300              | 285                 | 15              | 225                           | 15                         | 5,0                                       |
| 4           | 270              | 290                 | -20             | 400                           | 20                         | 7,4                                       |
| 5           | 230              | 250                 | -20             | 400                           | 20                         | 8,7                                       |
| 6           | 260              | 240                 | 20              | 400                           | 20                         | 7,7                                       |
| 7           | 210              | 250                 | -40             | 1600                          | 40                         | 19,0                                      |
| 8           | 275              | 240                 | 35              | 1225                          | 35                         | 12,7                                      |
| Totale      |                  |                     | -15             | 5275                          | 195                        | 81,3                                      |

**SOLUZIONE**

Usando le formule di calcolo delle misure, otteniamo:

Errore cumulativo di previsione (distorsione):

$$CFE = -15 \text{ (la distorsione, ossia la somma degli errori per tutti i periodi della serie temporale)}$$

Errore medio di previsione (distorsione media)

$$\bar{E} = \frac{CFE}{n} = \frac{-15}{8} = -1,875$$

Errore quadratico medio:

$$MSE = \frac{\sum E_t^2}{n} = \frac{5275}{8} = 659,4$$

Deviazione standard degli errori:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum [E_t - (-1,875)]^2}{7}} = 27,4$$

Deviazione media assoluta:

$$MAD = \frac{\sum |E_t|}{n} = \frac{195}{8} = 24,4$$

Errore percentuale medio assoluto:

$$MAPE = \frac{[\sum |E_t| / D_t] 100}{n} = \frac{81,3}{8} = 10,2\%$$

Una CFE di -15 indica che la previsione tendeva leggermente a sovrastimare la domanda. Il MSE, il  $\sigma$  e la MAD misurano la variabilità dell'errore di previsione. Una MAD di 24,4 sta a significare che l'errore medio di previsione era di 24,4 unità in valore assoluto. Il valore di  $\sigma$  (27,4) indica che la distribuzione degli errori di previsione sul campione ha una deviazione standard di 27,4 unità. Un MAPE del 10,2% implica che, in media, l'errore di previsione era intorno al 10% della domanda effettiva. Queste misure diventano più affidabili all'aumentare del numero dei periodi presi in considerazione.

**DECISIONE**

Benché ragionevolmente soddisfatto di questi risultati sulla performance previsionale, l'analista ha deciso di sperimentare alcuni altri metodi di forecasting prima di identificare definitivamente il metodo da usare per il futuro.

**ESEMPIO 6.2 Usare la regressione lineare per prevedere la domanda del prodotto**

Il responsabile della supply chain cerca un approccio più valido per prevedere la domanda di cardini, ed è convinto che essa sia collegata alle spese pubblicitarie. Qui di seguito sono riportati i dati sulle vendite e sulle spese pubblicitarie degli ultimi cinque mesi:

| Mese | Vendite (migliaia di unità) | Pubblicità (migliaia di €) |
|------|-----------------------------|----------------------------|
| 1    | 264                         | 2,5                        |
| 2    | 116                         | 1,3                        |
| 3    | 165                         | 1,4                        |
| 4    | 101                         | 1,0                        |
| 5    | 209                         | 2,0                        |

Il mese prossimo l'azienda spenderà €1750 in pubblicità sul prodotto. Usate la regressione lineare per sviluppare un'equazione e una previsione per questo prodotto.

**SOLUZIONE**

Abbiamo usato POM per Windows per determinare i valori migliori di  $a$  e  $b$ , il coefficiente di correlazione, il coefficiente di determinazione e l'errore standard della stima.

$$a = -8,135$$

$$b = 109,229X$$

$$r = 0,980$$

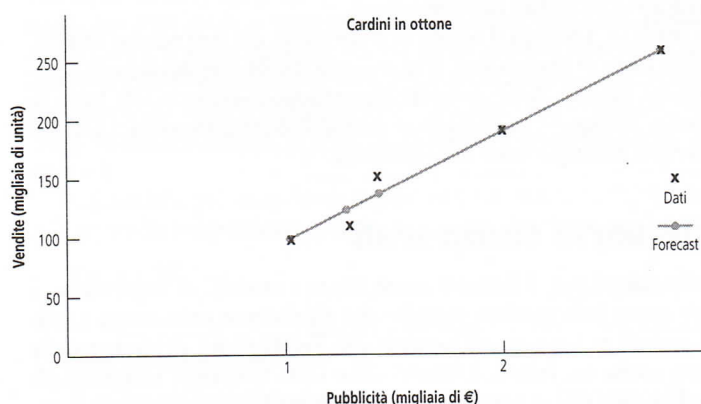
$$r^2 = 0,960$$

$$s_{yx} = 15,603$$

L'equazione di regressione è:

$$Y = -8,135 + 109,229X$$

e nella figura sottostante è visualizzata la linea di regressione lineare per i dati di vendita e pubblicitari. Il coefficiente di correlazione del campione ( $r$ ) è pari a 0,98, che è insolitamente vicino a 1,00 e suggerisce l'esistenza di una relazione positiva forte tra vendite e spese pubblicitarie. Il coefficiente di regressione ( $r^2$ ) implica che il 96% della variazione intervenuta nelle vendite derivi dalle spese pubblicitarie.

**DECISIONE**

Il responsabile della supply chain ha deciso di usare il modello di regressione come input per pianificare i livelli di produzione del mese 6. Poiché la spesa pubblicitaria sarà €1750, la previsione per il mese 6 è  $Y = -8,135 + 109,229(1,75) = 183,016$  ovvero 183.016 unità. Sovente accade che più variabili indipendenti incidano sulla variabile dipendente. Per esempio, le spese pubblicitarie e nuovi appalti per la costruzione di edifici residenziali potrebbero essere tutte variabili importanti per la stima della domanda di cardini. In questi casi, l'analisi di regressione multipla può servire a determinare un'equazione previsionale per la variabile dipendente come funzione di più variabili indipendenti.

- a) Calcolate la previsione dei pazienti in ingresso nella clinica nella settimana 4 usando una media mobile su 3 settimane. Il numero degli ingressi nelle 3 settimane precedenti è stato il seguente:

| Settimana | Ingressi di pazienti |
|-----------|----------------------|
| 1         | 400                  |
| 2         | 380                  |
| 3         | 411                  |

- b) Se il numero effettivo degli ingressi nella settimana 4 è 415, qual è l'errore di previsione per la settimana 4?  
c) Qual è la previsione per la settimana 5?

**SOLUZIONE**

- a) La previsione ottenuta con la media mobile alla fine della settimana 3 è:

$$F_4 = \frac{411 + 380 + 400}{3} = 397,0$$

- b) L'errore di previsione per la settimana 4 è:

$$E_4 = D_4 - F_4 = 415 - 397 = 18$$

- c) La previsione per la settimana 5 richiede gli ingressi effettivi dalle settimane 2 a 4, le tre più recenti in ordine di acquisizione dei dati:

$$F_5 = \frac{415 + 411 + 380}{3} = 402,0$$

**DECISIONE**

Dunque la previsione alla fine della settimana 3 sarebbe stata di 397 per la settimana 4, con uno scarto negativo di 18 pazienti rispetto alla domanda effettiva. La previsione per la settimana 5, effettuata alla fine della settimana 4, sarebbe stata di 402 pazienti.

- a) Rileggete i dati sugli ingressi dei pazienti nell'Esempio 6.3. Siamo arrivati alla fine della settimana 3, perciò il numero effettivo degli ingressi è di 411 pazienti. Usando  $\alpha = 0,10$ , calcolate la previsione per la settimana 4 con il metodo dell'attenuazione esponenziale.
- b) Qual era l'errore di previsione per la settimana 4 se la domanda effettiva si è rivelata di 415 pazienti?
- c) Qual è la previsione per la settimana 5?

**SOLUZIONE**

- a) Il metodo dell'attenuazione esponenziale richiede un forecast iniziale. Supponete di prendere i dati sulla domanda delle prime due settimane e di calcolarne la media, ottenendo  $(400 + 380)/2 = 390$  come forecast iniziale. (POM per Windows e OM Explorer usano sempre la domanda effettiva della prima settimana per il forecast iniziale del periodo 1, e non cominciano a rilevare errori di previsione fino al secondo periodo). Per ottenere il forecast della settimana 4, usando l'attenuazione esponenziale con  $D_3 = 411$ ,  $\alpha = 0,10$  e  $F_3 = 390$ , calcoliamo così la previsione per la settimana 4:

$$F_4 = 0,10 (411) + 0,90 (390) = 392,1$$

Dunque il forecasting per la settimana 4 sarebbe di 392 pazienti.

- b) L'errore di previsione per la settimana 4 è:

$$E_4 = 415 - 392 = 23$$

- c) Il nuovo forecast per la settimana 5 è:

$$F_5 = 0,10 (415) + 0,90 (392,1) = 394,4$$

ossia 394 pazienti. Notate che abbiamo usato  $F_4$ , e non il forecast a numero intero per la settimana, nel calcolo di  $F_5$ . In linea generale, noi arrotondiamo (quando è il caso) solo il risultato finale per mantenere la massima accuratezza possibile nei calcoli.

**DECISIONE**

Usando il metodo dell'attenuazione esponenziale, le previsioni dell'analista sarebbero state di 392 pazienti per la settimana 4 e poi di 394 pazienti per la settimana 5 e quelle immediatamente successive. Nel momento in cui si conoscerà la domanda effettiva per la settimana 5, si potrà aggiornare la previsione per la settimana 6.

---

**ESEMPIO 6.5 Usare il metodo moltiplicativo stagionale per prevedere il numero di clienti**

Il responsabile dell'azienda Stanley Steemer, specializzata nella pulizia dei tappeti, ha bisogno di una previsione trimestrale del numero dei clienti attesi per l'anno prossimo. Il business della pulizia dei tappeti è stagionale, con un picco nel terzo trimestre e un flesso nel quarto. Il management vuole prevedere la domanda dei clienti per ogni trimestre dell'anno 5, in base a una stima totale per quell'anno di 2600 clienti.

**SOLUZIONE**

La tabella sottostante calcola il fattore di stagionalità per ogni settimana. Mostra la domanda trimestrale degli ultimi 4 anni, oltre ai calcoli eseguiti per ottenere il fattore stagionale medio di ogni trimestre:

|           | ANNO 1         |                             | ANNO 2         |                             | ANNO 3         |                             | ANNO 4         |                             |                                                   |
|-----------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| Trimestre | Domanda        | Fattore di stagionalità (1) | Domanda        | Fattore di stagionalità (2) | Domanda        | Fattore di stagionalità (3) | Domanda        | Fattore di stagionalità (4) | Fattore di stagionalità medio [(1 + 2 + 3 + 4)/4] |
| 1         | 45             | $45/250 = 0,18$             | 70             | $70/300 = 0,23333$          | 100            | $100/450 = 0,22222$         | 100            | $100/550 = 0,18182$         | 0,2043                                            |
| 2         | 335            | $335/250 = 1,34$            | 370            | $370/300 = 1,23333$         | 585            | $585/450 = 1,30$            | 725            | $725/550 = 1,31818$         | 1,2979                                            |
| 3         | 520            | $520/250 = 2,08$            | 590            | $590/300 = 1,96667$         | 830            | $830/450 = 1,84444$         | 1160           | $1160/550 = 2,10909$        | 2,0001                                            |
| 4         | 100            | $100/250 = 0,40$            | 170            | $170/300 = 0,56667$         | 285            | $285/450 = 0,63333$         | 215            | $215/550 = 0,39091$         | 0,4977                                            |
| Totale    | 1000           |                             | 1200           |                             | 1800           |                             | 2200           |                             |                                                   |
| Media     | $1000/4 = 250$ |                             | $1200/4 = 300$ |                             | $1800/4 = 450$ |                             | $2200/4 = 550$ |                             |                                                   |

Per esempio, il fattore di stagionalità per il trimestre 1 dell'anno 1 si calcola dividendo la domanda effettiva (45) per la domanda media dell'intero anno ( $1000/4 = 250$ ). Facendo questo lavoro per tutti e quattro gli anni, possiamo poi calcolare i fattori di stagionalità medi per il trimestre 1 di tutti e quattro gli anni. Il risultato è un fattore di stagionalità di 0,2043 per il trimestre 1.

Una volta calcolati i fattori di stagionalità per tutte e quattro le stagioni (vedi l'ultima colonna della tabella), possiamo metterci a calcolare le previsioni per l'anno 5. Il responsabile dell'azienda suggerisce una previsione di 2600 clienti per tutto l'anno, che sembra ragionevole visto che la domanda annua è aumentata mediamente di 400 clienti all'anno (da 1000 nell'anno 1 a 2200 nell'anno 4, ossia  $1200/3 = 400$ ). La domanda prevista si calcola estendendo quel trend e proiettando sull'anno 5 una domanda annua di  $2200 + 400 = 2600$  clienti. Le previsioni trimestrali sono semplicissime. Dovete solo trovare la previsione della domanda media per l'anno 5, che è  $2600/4 = 650$ . Poi dovete moltiplicare questa domanda media per il fattore di stagionalità medio, con questi risultati:

| Trimestre | Previsione                     |
|-----------|--------------------------------|
| 1         | $650 \times 0,2043 = 132,795$  |
| 2         | $650 \times 1,2979 = 843,635$  |
| 3         | $650 \times 2,0001 = 1300,065$ |
| 4         | $650 \times 0,4977 = 323,505$  |

**DECISIONE**

Con questo metodo stagionale, l'analista fa una previsione della domanda di soli 133 clienti nel primo trimestre, che diventano ben 1300 nel terzo. Qui la stagione dell'anno fa chiaramente la differenza.