



CERTIFICATI BIANCHI
Allegato 2.3 alla Guida Operativa

Guide Settoriali

***IL SETTORE INDUSTRIALE
DELLA PRODUZIONE DI ARTICOLI IN MATERIALE PLASTICO***

INDICE

1	DESCRIZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO	3
2	DESCRIZIONE DELLE MIGLIORI TECNOLOGIE DISPONIBILI E DEGLI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA.....	5
2.1	Stampaggio per iniezione	6
2.2	Stampaggio per soffiaggio	7
2.3	Formatura per estrusione di profili e film in bolla.....	7
2.4	Dispositivi per la produzione di bottiglie PET	8
2.5	Ulteriori interventi di efficienza energetica.....	9
3	INDIVIDUAZIONE DEGLI ALGORITMI DI CALCOLO DEI RISPARMI	10
4	METODOLOGIA ADOTTATA PER LA PRESENTE GUIDA	11
5	BIBLIOGRAFIA	12

1 DESCRIZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO

Le materie plastiche vengono prodotte nelle industrie chimiche (sotto forma di polvere, granuli, pastiglie, cilindretti etc.) e risulta di fondamentale importanza la ricerca di tecniche di lavorazione che consentano di produrre materiali plastici sempre più performanti. In prima approssimazione tali polimeri possono essere classificati in base al loro comportamento al riscaldamento: si possono infatti distinguere materie termoplastiche e termoindurenti.

Le **materie termoplastiche** (polistirene, polipropilene, polivinilcloruro, resine acriliche, poliammidi, etc.) reagiscono al calore con un processo reversibile entro un dato limite di temperatura in quanto sono in grado di rammollire, acquisire una data malleabilità che ne permette la modellazione per formare prodotti finiti e, successivamente ad una fase di raffreddamento, ritornare ad acquisire rigidità.

Le **materie termoindurenti** (poliuretano, politetrafluoroetilene, etc.) per effetto del riscaldamento induriscono e perdono la capacità di scorrimento. Le lavorazioni delle materie plastiche possono essere suddivise in due macro aree a seconda del tipo di plastica sopra enunciata.

Nella figura seguente sono indicate per le due tipologie di plastiche, i processi maggiormente utilizzati per la loro lavorazione.

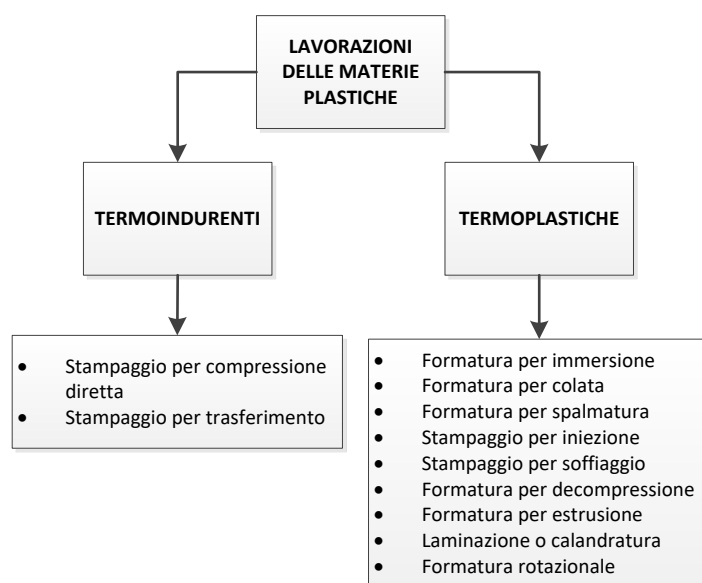


Figura 1: macro categorie per la lavorazione delle plastiche (Fonte: Elementi di tecnologia, 2011)

Mentre nelle lavorazioni termoindurenti le reazioni di polimerizzazione vengono interrotte a uno stadio intermedio, in modo che il materiale possa essere plasmato nella fase di formatura, nelle lavorazioni termoplastiche le reazioni di polimerizzazione vengono completate prima della formatura e gli stampi vengono riscaldati solo per rendere il materiale malleabile. In particolare, nei seguenti paragrafi ci si concentrerà sulle seguenti lavorazioni:

- *stampaggio per iniezione*: è il più importante, versatile e complesso processo di trasformazione, adatto per la produzione di oggetti in serie di ogni forma e dimensione. In una delle possibili configurazioni del macchinario è presente una tramoggia, che ha la funzione di caricare e preriscaldare il materiale

granulare. All'interno del cilindro i granuli vengono riscaldati da una serie di resistenze elettriche al di sopra della temperatura di fusione, per essere poi plastificati dalla rotazione della vite. La pressa, dopo aver provveduto alla chiusura dello stampo, inizia la fase di iniezione rapida.

Il materiale viene mantenuto in pressione fino alla solidificazione del pezzo stampato. A questo punto si ha la "compensazione" del ritiro volumetrico della materia plastica durante la fase di raffreddamento. Infine, la pressa effettua l'apertura dello stampo per permettere l'estrazione del pezzo stampato. Lo stampaggio ad iniezione può avvenire tramite (i) l'iniezione di monomateria o di bimateria a seconda che si utilizzi un solo polimero o due diversi polimeri, (ii) l'iniezione bicolore o multicolore con polimeri uguali ma di colori differenti, (iii) l'iniezione in costampaggio per la realizzazione di materiale plastico con elementi estranei, (iv) l'iniezione a gas per ottenere cavità interne (ovvero stampaggio per soffiaggio);

- *formatura per estrusione*: è il processo utilizzato per ottenere, ad esempio, tubi, film e profilati di varie forme; in una delle sue possibili configurazioni è presente una tramoggia che ha la funzione di caricare e preriscaldare il materiale in forma granulare. Successivamente, il granulato viene fatto cadere all'interno del cilindro nel quale è presente una vite senza fine che trascina il polimero fino a farlo passare attraverso un'apertura, chiamata testa di estrusione o filiera, che impartisce la propria forma in maniera continua. L'estrusore può essere monovite o bivate: nel secondo caso l'efficienza della miscelazione è migliore e le due viti parallele possono ruotare nello stesso senso (estrusore bivate co-rotante) o in senso opposto (estrusore bivate contro-rotante), scelto a seconda della specifica applicazione. La temperatura della macchina di estrusione è controllata in modo che il materiale processato acquisti il grado di fluidità adatto ed esca allo stato solido, a seguito di un'eventuale successiva sezione di raffreddamento.

Un'ulteriore processo di estrusione prevede la possibilità di unire diversi materiali polimerici, affini sia dal punto di vista chimico che termico; impianti in grado di eseguire tali tipi di lavorazioni vengono definiti di co-estrusione.

2 DESCRIZIONE DELLE MIGLIORI TECNOLOGIE DISPONIBILI E DEGLI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA

Ad oggi non è presente letteratura di settore con indicazione delle migliori tecnologie disponibili in ambito energetico per il settore. Con riferimento ai progetti di efficienza energetica presentati nell'ambito del meccanismo dei Certificati Bianchi, nonché alla letteratura di settore e alle soluzioni tecnologiche ad oggi installabili, di seguito è presente una descrizione degli interventi di efficienza energetica relativi al settore della produzione di articoli in materiale plastico presenti in tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.

Nell'ambito dello stampaggio ad iniezione, attualmente la migliore tecnologia disponibile è definita dalle presse elettriche ed ibride, mentre relativamente al processo di estrusione, la migliore tecnologia disponibile prevede l'utilizzo di sistemi di azionamento efficienti, quali motori alimentati in corrente alternata ad alta efficienza, che consentono di ridurre il consumo di energia elettrica.

Tipologie di intervento del settore della produzione di articoli in materiale plastico <i>tabella 1 del D.M.11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.</i>	Vita utile		
	Nuova installazione	Sostituzione	Efficientamento integrato
Presse ad eccezione di presse idrauliche per stampaggio di materie plastiche	10	7	5
Estrusori di materie plastiche	10	7	5
Sistemi di termoformatura per stampaggio di materie plastiche	10	7	5
Dispositivi per produzione di bottiglie PET	10	7	5

Tabella 1: tipologie di intervento del settore di produzione degli articoli in materiale plastico, tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.

Ai sopracitati interventi si aggiungo quelli relativi all'installazione di sistemi di automazione e controllo, che ricadono tra le misure comportamentali *“adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti”* e quelli relativi alla *“variazione delle materie in ingresso nel processo produttivo, compreso l'utilizzo di materiale di scarto della lavorazione, a parità di prodotto finito o semilavorato”*. Per questi ultimi interventi, il calcolo dei risparmi dovrà essere effettuato con riferimento al consumo energetico del *“sistema tecnologico assunto come punto di riferimento”*. Pertanto, l'installazione di sistema di controllo verrà incentivata in relazione alla riduzione dei consumi energetici rispetto alle condizioni ex ante del sistema tecnologico assunto come punto di riferimento.

Così come previsto dal D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii., si specifica che, nel caso di sostituzione, **ovvero di efficientamento energetico integrato** di macchinari, sarà necessario effettuare il confronto tra la configurazione antecedente alla realizzazione del progetto di efficienza energetica e il macchinario installato a parità di producibilità oraria.

Di seguito si mostrano degli esempi di progetti di efficientamento energetico integrato per le tipologie di intervento di cui alla Tabella 1:

- *“Presse ad eccezione di presse idrauliche per stampaggio di materie plastiche”, “Estrusori di materie plastiche”*: contestuale sostituzione del motore elettrico della vite con installazione di un inverter e implementazione di un sistema di controllo innovativo;
- *“Sistemi di termoformatura per stampaggio di materie plastiche”*: contestuale sostituzione della pompa per vuoto e nell'implementazione di un sistema di controllo innovativo;
- *“Dispositivi per produzione di bottiglie PET”*: contestuale sostituzione dei motori elettrici e dei sistemi di pompaggio asserviti ai dispositivi per la produzione di bottiglie di PET.

Infine, si precisa che il consumo specifico elettrico delle presse e degli estrusori è influenzato da numerosi fattori, quali, a titolo esemplificativo e non esaustivo, le caratteristiche chimico-fisiche del polimero in ingresso, la velocità di rotazione delle macchine, le caratteristiche meccaniche della vite, le caratteristiche dimensionali del prodotto realizzato, etc.

Al fine di semplificare l'analisi e gli algoritmi di calcolo, la presente guida si è limitata ad individuare le correlazioni tra il consumo specifico SEC, espresso in kWh/kg, e la produzione oraria, "Production rate" (P), espressa in kg/h.

2.1 Stampaggio per iniezione

Con riferimento al documento "Energy Management in Plastics Processing", 2013, R. Kent (di seguito "Documento"), nel caso di nuova installazione, è possibile individuare il consumo specifico di riferimento (SEC) per le presse elettriche/ibride installate (ottenuto considerando nel campione analizzato sia la tecnologia elettrica che ibrida) tramite la formula di seguito riportata:

$$SEC_{rif} = \frac{3,41}{P} + 0,58$$

Nella figura seguente è riportato l'andamento del consumo specifico di riferimento delle presse elettriche/ibride in funzione del "Production rate" (P, produttività oraria espressa in kg/h).

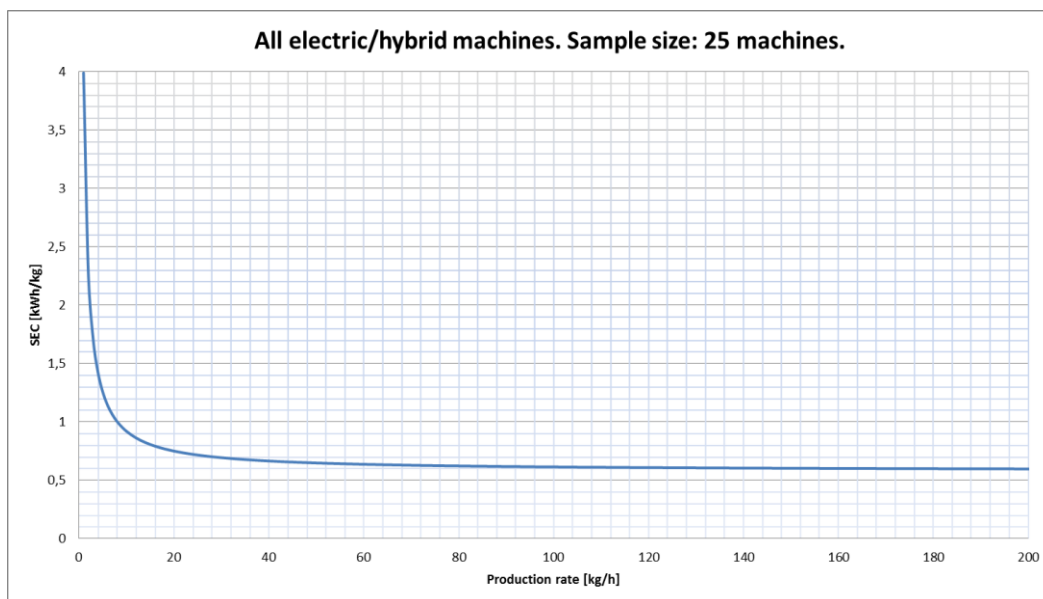


Figura 2: variazione del consumo specifico di riferimento delle presse elettriche e ibride in funzione del Production rate

In particolare, nel caso di valori di "Production rate" uguali o inferiori a 50 kg/h sarà necessario applicare l'equazione 1 per definire il consumo specifico di riferimento.

Nel caso di valori di "Production rate" maggiori di 50 kg/h, invece, stante la difficoltà riscontrata nel definire una correlazione univoca tra i consumi ed i fattori inerenti alle differenti e specifiche lavorazioni, sarà necessario prendere come consumo specifico il valore di 0,58 kWh/kg (2).

$$SEC_{rif} = \begin{cases} \frac{3,41}{P} + 0,58, & \text{se } 0 < P \leq 50 \\ 0,58, & \text{se } P > 50 \end{cases} \quad (1)$$

(2)

2.2 Stampaggio per soffiaggio

Con riferimento al Documento sopra indicato, nel caso di nuova installazione, è possibile individuare il consumo specifico di riferimento (SEC) per il soffiaggio tramite l'equazione 3:

$$SEC_{rif} = \frac{29,61}{P} + 0,29 \quad (3)$$

Nella figura seguente è riportato l'andamento del consumo specifico di riferimento per il soffiaggio al variare del "Production rate" (P, produttività oraria espressa in kg/h).

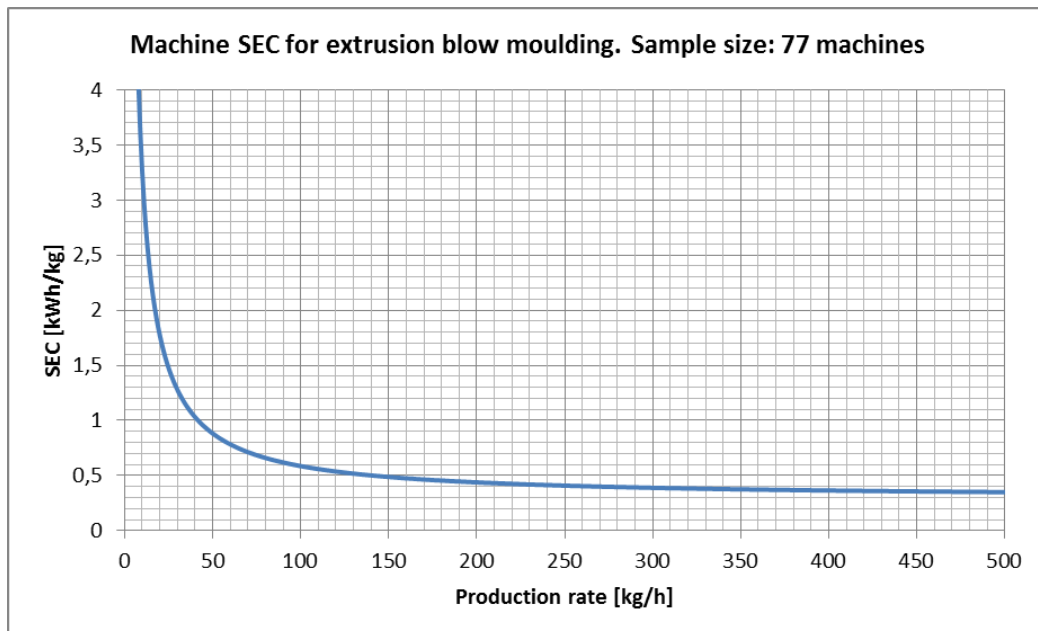


Figura 3: variazione del consumo specifico per il soffiaggio in funzione del Production rate

2.3 Formatura per estrusione di profili e film in bolla

Con riferimento al Documento sopra indicato nel caso di nuova installazione, è possibile individuare il consumo specifico di riferimento (SEC) per gli estrusori di profili e film in bolla tramite l'equazione (4):

$$SEC_{rif} = \frac{2,31}{P} + 0,38 \quad (4)$$

Nella figura seguente è riportato l'andamento del consumo specifico di riferimento degli estrusori di profili e di film in bolla al variare del "Production rate" (P, produttività oraria espressa in kg/h).

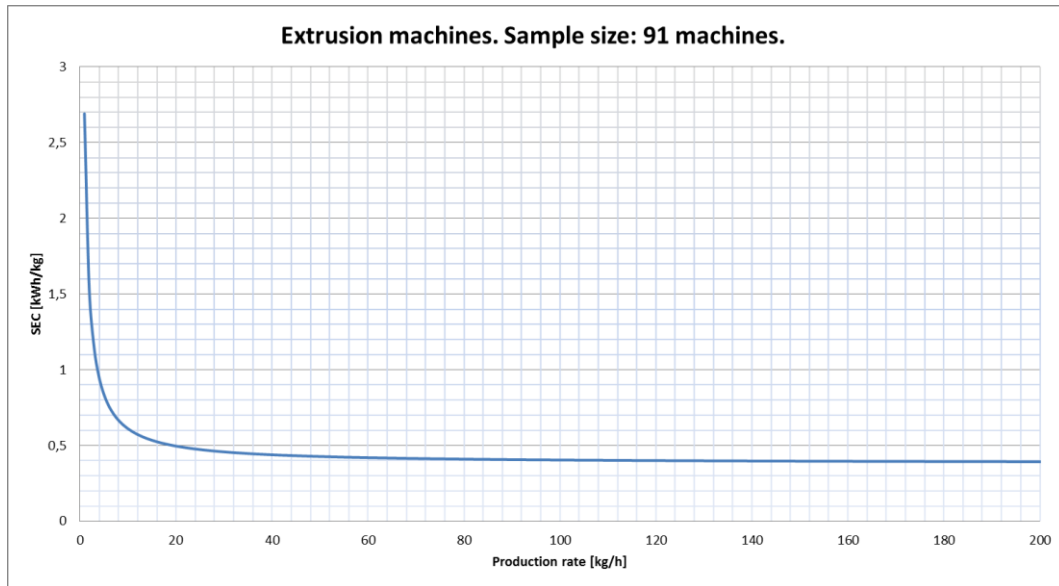


Figura 4: variazione del consumo specifico degli estrusori di profili e film in bolla in funzione del Production rate

In particolare nel caso di valori di “Production rate” uguali o inferiori a 50 kg/h sarà necessario applicare l’equazione 5 per definire il consumo specifico di baseline. Nel caso di valori di “Production rate” maggiori di 50 kg/h, sarà necessario prendere come consumo specifico il valore di 0,38 kWh/kg (6).

$$SEC_{rif} = \begin{cases} \frac{2,31}{P} + 0,38, & \text{se } 0 < P \leq 50 \\ 0,38, & \text{se } P > 50 \end{cases} \quad (5)$$

$$(6)$$

2.4 Dispositivi per la produzione di bottiglie PET

Ricadono in questa tipologia di intervento tutti i macchinari che concorrono alla realizzazione delle bottiglie di PET. Un esempio tipico delle fasi che caratterizzano il processo di produzione delle bottiglie in PET è il seguente:

- preriscaldamento del PET;
- soffiaggio delle preforme;
- riempimento delle bottiglie;
- tappaggio;
- etichettatura;
- controllo di conformità del prodotto;
- fardellatura;
- manigliatura;
- inscatolamento;
- pallettizzazione.

Le fasi sopra descritte potrebbero variare in funzione della tipologia di prodotto e delle richieste di mercato. L’intervento di nuova installazione, sostituzione o efficientamento energetico integrato potrà riguardare l’intera linea di produzione, ovvero parte di essa. Pertanto, ai fini della determinazione dei risparmi energetici conseguibili mediante un intervento di efficienza energetica che riguardi i “Dispositivi per la produzione di bottiglie PET”, sarà importante definire il perimetro oggetto di intervento, le variabili operative e i vettori energetici che lo caratterizzano, nonché gli eventuali effetti indotti sugli altri macchinari al di fuori del

perimetro di intervento. Si rappresenta, inoltre, che, oltre al peso del PET prodotto, ovvero ai litri di prodotto liquido imbottigliati, il consumo specifico di baseline dovrà essere normalizzato rispetto ai diversi formati di bottiglie prodotte, fermo restando che dovrà comunque essere effettuata un'analisi delle possibili ulteriori variabili operative che potrebbero avere influenza sui consumi specifici di energia elettrica del macchinario/linea oggetto di intervento.

2.5 Ulteriori interventi di efficienza energetica

A livello di stabilimento, ulteriori interventi di efficienza energetica riportati in tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii., che non riguardano strettamente il processo produttivo della lavorazione delle materie plastiche e che dunque risultano essere trasversali a tutta l'industria in generale, sono relativi all'installazione o sostituzione di:

- sistemi di power quality;
- motori elettrici, anche accompagnati dall'installazione o sostituzione dei relativi inverter;
- essiccatori;
- impianti per la climatizzazione degli ambienti in ambito industriale con sistemi radianti ad alta temperatura;
- impianti di produzione di energia termica;
- economizzatori sulla linea fumi di impianti di produzione di energia termica;
- sistemi per il trattamento degli effluenti gassosi;
- gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere, ivi compresi gli impianti di surgelazione e refrigerazione;
- impianti di produzione dell'aria compressa;
- sistemi per l'illuminazione;
- sistemi di pompaggio, anche accompagnati dall'installazione o sostituzione dei relativi inverter;
- realizzazione e riqualificazione profonda di edifici;
- isolamento termico di superfici disperdenti opache degli edifici;
- altri sistemi di free-cooling.

3 INDIVIDUAZIONE DEGLI ALGORITMI DI CALCOLO DEI RISPARMI

Nel seguente capitolo sono indicati gli algoritmi di calcolo da utilizzare per determinare dei risparmi energetici addizionali per le tipologie di intervento di cui alla Tabella 1.

Intervento	Indicatore	Algoritmo
Presse ad eccezione di presse idrauliche per stampaggio di materie plastiche	SEC	1
Estrusori di materie plastiche		
Sistemi di termoformatura per stampaggio di materie plastiche		
Dispositivi per produzione di bottiglie PET	SEC, kWh/l	1, 2

Tabella 2: algoritmi di calcolo dei risparmi

Per gli interventi relativi ai “Dispositivi per produzione di bottiglie PET” la scelta dell’algoritmo di calcolo più appropriato è da valutare sulla base di un confronto tra le correlazioni ottenibili utilizzando i due diversi indicatori riportati in tabella.

Formula	Algoritmo
1	$RISP = (SEC_{baseline} - SEC_{expost}) \cdot f_e \cdot P$
2	$RISP = (CS_{baseline} - CS_{expost}) \cdot f_e \cdot V$

dove:

- RISP è il risparmio di energia primaria [tep];
- $SEC_{baseline}$ è il consumo specifico di baseline. Tale consumo specifico corrisponde al consumo di riferimento nei casi di nuova installazione, ovvero al consumo specifico ex ante nei casi di efficientamento energetico integrato o sostituzione del macchinario/della linea di produzione [kWh/kg];
- SEC_{expost} è il consumo specifico ex post del macchinario/della linea di produzione [kWh/kg];
- P è il quantitativo di PET prodotto [kg];
- $CS_{baseline}$ è il consumo specifico di baseline. Tale consumo specifico corrisponde al consumo di riferimento nei casi di nuova installazione, ovvero al consumo specifico ex ante nei casi di efficientamento energetico integrato o sostituzione del macchinario/della linea di produzione [kWh/l];
- CS_{expost} è il consumo specifico ex post del macchinario/della linea di produzione [kWh/l];
- V è il volume di liquido imbottigliato [l];
- f_e = fattore di conversione pari a 0,000187 tep/kWh, in caso di prelievo di energia elettrica dalla rete elettrica nazionale.

Il programma di misura dovrà prevedere un campionamento orario delle grandezze che concorrono alla determinazione dei risparmi energetici addizionali.

4 METODOLOGIA ADOTTATA PER LA PRESENTE GUIDA

Nel caso in cui il progetto preveda l'installazione di un nuovo macchinario, al fine di definire i consumi di riferimento relativi agli interventi realizzati negli stabilimenti di lavorazione delle materie plastiche, ci si è riferiti al database GSE e al documento *"Energy Management in Plastics Processing"* (di seguito *"Documento"*), 2013, R. Kent.

L'analisi delle istanze ha consentito di focalizzare l'attenzione sulle seguenti lavorazioni:

1. stampaggio per iniezione;
2. stampaggio per soffiaggio;
3. formatura per estrusione (profili, film in bolla).

Non sono state prese in considerazione le ulteriori fasi di processo in quanto l'elevata eterogeneità dei processi/prodotti e la poca rappresentatività dei dati a disposizione nel database GSE non hanno permesso una ricostruzione dei dati affidabili.

Dall'analisi della documentazione pervenuta, in riferimento alle suddette fasi di processo, è stata riscontrata un'elevata variazione dei consumi attribuibile a fattori inerenti alle differenti lavorazioni, quali la tipologia e le caratteristiche del prodotto, la producibilità oraria, le taglie dei macchinari, la durata del ciclo di lavorazione, etc.

L'elevata eterogeneità dei dati non ha permesso di individuare una correlazione univoca tra i consumi energetici e le suddette variabili. Pertanto, al fine di determinare il risparmio energetico addizionale, si è fatto riferimento a quanto proposto dal Documento. Tale studio individua una curva del consumo specifico al variare della producibilità oraria, sia per le presse ibride/elettriche, sia per gli estrusori. Poiché il campione individuato nel Documento risultava significativo, si sono ritenute affidabili le formulazioni proposte dallo stesso.

Le curve individuate per lo stampaggio per iniezione e la formatura per estrusione presentano un consumo specifico asintotico per elevati livelli di produzione, pertanto si è effettuata una distinzione tra le basse ed alte producibilità, imponendo per quest'ultime un valore fisso di consumo specifico in corrispondenza del valore asintotico delle curve stesse.

Si precisa che tutti i consumi di riferimento indicati dal Documento sono stati validati dal confronto con i valori medi dei consumi ex ante ed ex post presenti nel database GSE. In particolare, i consumi di riferimento del Documento sono risultati in linea con quelli ex ante e superiori a quelli ex post di macchinari installati tra il 2012 e 2015.

5 BIBLIOGRAFIA

- *“Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche”, 2017, ENEA;*
- R. J. Kent, *“Energy Management in Plastics Processing”, ed 2013;*
- C. Amerio, R. De Ruvo, S. Simonetti, *“Elementi di tecnologia” ed. 2011.*