



Ricerca di Sistema elettrico

Caratterizzazione energetica e strategie d'intervento per il settore delle piastrelle di ceramica

B. Ferrari, B. Mazzanti, M.C. Bignozzi, A. Fregni,
L. Branchini, A. De Pascale, F. Melino

CARATTERIZZAZIONE ENERGETICA E STRATEGIE D'INTERVENTO PER IL SETTORE DELLE PIASTRELLE DI CERAMICA

B. Ferrari, B. Mazzanti, M.C. Bignozzi, A. Fregni, L. Branchini, A. De Pascale, F. Melino
(UNIBO)

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: N.1 - Tecnologie

Progetto: 1.6 – Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Work package: 4 – Definizione di best practices e di indicatori di performance per interventi di efficienza energetica

Linea di attività: LA4.17: Settore produttivo delle piastrelle di ceramica: calcolo e validazione di indicatori di prestazione energetica e valutazione di strategie d'intervento

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work package: Fabrizio Martini, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"ANALISI DEL PROCESSO PRODUTTIVO CERAMICO, DEGLI ATTUALI ASSETTI COGENERATIVI E DEGLI INDICATORI DI PRESTAZIONE"*

Responsabile scientifico ENEA: Claudia Toro

Responsabile scientifico per l'Università di Bologna: Prof.ssa Maria Chiara Bignozzi

Gli autori desiderano ringraziare Confindustria Ceramica e il Centro Ceramico per il prezioso contributo ed il supporto forniti.

Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	6
2 IL SETTORE DELLE PIASTRELLE DI CERAMICA.....	7
3 IL PROCESSO DI PRODUZIONE E L'EVOLUZIONE IMPIANTISTICA SETTORIALE.....	8
3.1 PREPARAZIONE DELLE MATERIE PRIME.....	9
3.1.1 <i>Macinazione</i>	9
3.1.2 <i>Regolazione del contenuto d'acqua</i>	10
3.2 FORMATURA.....	11
3.3 ESSICCAZIONE.....	12
3.4 SMALTATURA E DECORAZIONE SUPERFICIALE.....	12
3.4.1 <i>Preparazione degli smalti</i>	12
3.4.2 <i>Applicazione degli smalti/decori</i>	12
3.5 COTTURA.....	13
3.6 LAVORAZIONI MECCANICHE.....	13
3.7 SCELTA E CONFEZIONAMENTO.....	14
4 LE EMISSIONI DI SETTORE.....	14
5 I CONSUMI ENERGETICI DI SETTORE.....	16
5.1 INDIVIDUAZIONE DELLE FONTI BIBLIOGRAFICHE.....	17
5.1.1 <i>Diagnosi Energetiche</i>	17
5.1.2 <i>Autorizzazione Integrata Ambientale</i>	21
5.1.3 <i>BAT – D.M. 29/01/2007</i>	21
5.1.4 <i>Guida Operativa GSE</i>	21
5.1.5 <i>Banca Dati</i>	21
5.2 ANALISI DEL CAMPIONE DI RIFERIMENTO.....	22
5.2.1 <i>Rappresentatività del campione</i>	22
5.2.2 <i>Impianti presenti nel campione</i>	23
5.2.3 <i>Ripartizione dei consumi del campione</i>	25
5.3 ELABORAZIONE DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICI.....	29
5.3.1 <i>Indici di prestazione energetici di riferimento</i>	29
5.3.2 <i>Indici di prestazione energetici generali (IPEg)</i>	31
5.3.2.1 Livello B.....	32
5.3.2.2 Livello C.....	36
5.3.3 <i>Indici di prestazione energetici specifici (IPEs)</i>	39
5.3.3.1 Livello D – Macinazione.....	40
5.3.3.2 Livello D – Regolazione del contenuto d'acqua.....	40
5.3.3.3 Livello D – Pressatura.....	42
5.3.3.4 Livello D – Essiccazione.....	42
5.3.3.5 Livello D – Smaltatura e decorazione superficiale.....	46
5.3.3.6 Livello D – Cottura.....	46
5.3.3.7 Livello D – Lavorazioni meccaniche.....	48
5.3.3.8 Livello D – Scelta e confezionamento.....	49
6 VARIABILI DI PROCESSO E SISTEMI DI MONITORAGGIO.....	51
6.1 ANALISI DEI DATI DI DETTAGLIO RICHIESTI ALLE AZIENDE.....	51
6.2 GRADO DI PENETRAZIONE DEI SISTEMI DI MONITORAGGIO.....	53
7 TECNOLOGIE E SOLUZIONI PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI SPECIFICI.....	55
7.1 AZIONI DI MIGLIORAMENTO PER REPARTO.....	55
7.2 CASI STUDIO.....	62
7.2.1 <i>Recupero di calore da forni a essiccatoi</i>	62

7.2.2	<i>Installazione di inverter su motori elettrici</i>	64
7.2.3	<i>Recupero di calore mediante ORC su emissione fumi</i>	64
8	CONCLUSIONI.....	66
9	COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI	68
10	CURRICULUM DEL GRUPPO DI LAVORO	68
11	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	69
12	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI	71

Sommario

Il presente documento è il risultato delle attività svolte nell'ultima annualità del progetto di collaborazione tra l'ENEA ed il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna, finalizzate a definire un quadro energetico-ambientale nel settore industriale di produzione delle piastrelle di ceramica.

La gestione dell'energia nel settore delle piastrelle di ceramica è un aspetto di fondamentale rilevanza, dato l'alto fabbisogno energetico richiesto dal ciclo produttivo. Per questo motivo, fin dagli anni '70, l'ottimizzazione dei consumi energetici ha costituito uno degli obiettivi principali nell'industria ceramica. Diverse sono state le strategie e le azioni intraprese nel tempo tra cui il recupero dei cascami termici dal processo produttivo, l'uso razionale dell'energia e l'adozione di tecnologie innovative.

Nel 2018, risultano essere 104 le aziende ceramiche che, ai sensi del D.lgs 102 del 4 luglio 2014, hanno effettuato una Diagnosi Energetica in quanto si configurano come "Grandi Imprese" e/o "Imprese Energivore" così come definito nel D.M. 21 dicembre 2017.

Partendo dai dati raccolti all'interno delle Diagnosi Energetiche e dei database regionali relativi al 2018, la presente analisi si propone come obiettivo la creazione di una mappatura energetica del comparto ceramico attraverso la definizione di una serie di indicatori energetici settoriali. Il confronto degli indicatori prestazionali ottenuti dalla raccolta dati, con quelli reperiti dalla letteratura, da riferimenti normativi o da studi delle associazioni di categoria ha permesso di validare i modelli costruiti e di realizzare un'attività di benchmarking interna al settore. Parallelamente l'analisi ha indagato e promosso le strategie e le relative misure d'implementazione delle migliori tecniche di efficienza energetica disponibili per il settore delle piastrelle di ceramica. A tale fine sono state definite le principali variabili che più influiscono sui consumi, il grado di penetrazione dei sistemi di monitoraggio/SGE e la loro copertura sulle variabili individuate. Sulla base di alcuni casi studio, sono stati infine definiti i benefici attesi dall'implementazione di alcune delle principali strategie di efficientamento allo scopo di aggiornare il ventaglio delle *best practices* settoriali e di sostenere, quindi, la transizione energetica del comparto.

1 Introduzione

Il presente documento è il risultato dell'accordo di collaborazione tra l'ENEA e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna. Tale collaborazione nasce all'interno dell'Accordo di Programma che il Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA hanno stipulato nel 2019 finalizzato all'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale. L'accordo di collaborazione tra l'ENEA e il DICAM si riferisce al Piano Annuale di Realizzazione 2019-2021, per quanto attiene il progetto 1.6 "Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali", nello specifico si riferisce al Work Package WP4 "Definizione di *best practices* e di indicatori di performance per interventi di efficienza energetica". I temi sviluppati nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento DICAM dell'Università di Bologna, con riferimento alla seconda annualità, riguardano la creazione di una mappatura energetica del settore produttivo delle piastrelle di ceramica e l'individuazione e la promozione delle strategie e delle relative misure di implementazione delle migliori tecniche di efficienza energetica disponibili per le imprese.

L'Italia, negli obiettivi definiti nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), prevede un'importante riduzione dei consumi al 2030 pari al 43% di energia primaria e al 39,7% di energia finale rispetto allo scenario PRIMES 2007. In particolare si prevede una diminuzione annua dei consumi di energia finale di 9,3 Mtep, da conseguire nel settore residenziale, terziario, dei trasporti e dell'industria. L'industria edile offre notevoli opportunità di intervento, essendo responsabile di circa il 40% dei consumi di energia e del 36% delle emissioni di gas effetto serra a livello europeo (1).

L'alto fabbisogno energetico richiesto dal ciclo produttivo, coperto per il 70% dal gas naturale, colloca il settore produttivo delle piastrelle di ceramica tra gli *energy intensive*. Attualmente, in Italia, vi sono 135 aziende produttrici di piastrelle principalmente localizzate in Emilia-Romagna, responsabile di oltre il 90% della produzione nazionale (2). L'incidenza della voce energia sul costo di produzione finale e l'alta concentrazione d'impresе sul territorio regionale hanno condotto, fin dagli anni '70, ad una forte consapevolezza del settore verso l'impatto dei propri processi produttivi e alla ricerca continua di una gestione efficiente dell'energia. A partire dagli anni '70, l'industria italiana delle piastrelle di ceramica ha promosso un percorso strategico finalizzato alla riduzione delle emissioni e degli sprechi in campo energetico, conseguendo notevoli risparmi grazie ad innovazioni tecnologiche, interventi per il recupero dei cascami termici, efficienza nei cicli di produzione ed un uso razionale dell'energia.

Lo studio condotto si pone come obiettivo quello di creare una mappatura energetica del settore, definendo i principali Indicatori di Prestazione Energetica (IPE) di riferimento, generali e specifici per fase produttiva. L'analisi della realtà produttiva settoriale ha permesso inoltre di definire le principali tecnologie di riferimento, allo stato dell'arte e innovative, per la riduzione dei consumi specifici, e, contestualmente, delle emissioni inquinanti.

Il contesto nel quale si inserisce la ricerca condotta è pertanto orientato ad ottenere il duplice risultato di validazione dei modelli costruiti e di utilità al settore ai fini del posizionamento per l'ottenimento delle agevolazioni per gli energivori.

2 Il settore delle piastrelle di ceramica

Il settore produttivo delle piastrelle di ceramica (sette Ateco 23.31) ricopre una posizione importante nel panorama industriale italiano. Secondo i dati del 2019 (3), l'Italia è il sesto produttore mondiale con un volume di vendite di 407 milioni di metri quadri, di cui il 79% deriva da esportazioni estere. Attualmente, in Italia vi sono 135 aziende produttrici e in particolare l'Emilia-Romagna è responsabile di oltre il 90% della produzione nazionale data l'alta concentrazione di unità produttive nel distretto reggiano-modenese (2). Le piastrelle di ceramica sono materiali inorganici e non metallici principalmente impiegati come elementi di finitura per pareti e pavimenti. Sono ottenute da materie prime quali argille, sabbie e feldspati, che in seguito ad un trattamento termico si trasformano in un solido caratterizzato da fasi cristalline e amorfe. Grazie agli innovativi processi produttivi è possibile ottenere diverse tipologie di piastrelle, descritte in Tabella 1, aventi dimensioni variabili (4).

Tipologia	Dettagli
Monocottura	Piastrelle smaltate prodotte secondo la tecnologia della monocottura. Il supporto può essere colorato (monocottura rossa) o chiaro (monocottura chiara). Destinate prevalentemente per pavimenti interni ed esterni.
Monoporosa	Piastrelle smaltate prodotte secondo la tecnologia della monocottura. Il supporto può essere colorato (monoporosa rossa) o chiaro (monoporosa chiara). Destinate prevalentemente per rivestimenti interni.
Maiolica	Piastrelle smaltate prodotte secondo la tecnologia della bicottura. Hanno una buona resistenza meccanica e un assorbimento d'acqua compreso tra il 15-25%.
Grès rosso	Piastrelle non smaltate, a supporto compatte colorato. Hanno un assorbimento d'acqua compreso tra 1-4%.
Grès porcellanato	Piastrelle non smaltate o smaltate prodotte secondo la tecnologia della monocottura. Prodotto estremamente compatto con un assorbimento d'acqua compreso tra 0-0.5%.
Cottoforte	Piastrelle smaltate, a supporto poroso e colorato, prodotte secondo la tecnologia della bicottura.
Cotto	Piastrelle non smaltate, a supporto poroso e di colore rosso, ottenute per estrusione.
Terzo e quarto fuoco	Piastrelle con decorazioni che richiedono più cotture progressive a temperature inferiori.

Tabella 1. Le principali tipologie di piastrelle disponibili sul mercato

Tra i principali prodotti disponibili sul mercato, il grès porcellanato rappresenta, ad oggi, il prodotto di punta dell'industria ceramica italiana e mondiale. Secondo i dati del 2019 (2), la produzione di grès porcellanato ha coperto circa l'89% della produzione nazionale, seguito dalla monocottura (5%), dalle piastrelle prodotte in bicottura (5%) e dai prodotti di nicchia (1%). Solitamente un impasto per grès porcellanato contiene il 40% di materiali argillosi e il 60% di componenti duri cioè sabbie quarzifere e feldspati.

3 Il processo di produzione e l'evoluzione impiantistica settoriale

Il processo di produzione delle piastrelle di ceramica può variare in funzione del tipo di prodotto finito desiderato (Figura 1). Generalmente è possibile schematizzare il processo di produzione in due cicli principali: un processo "a ciclo completo" e "a ciclo parziale".

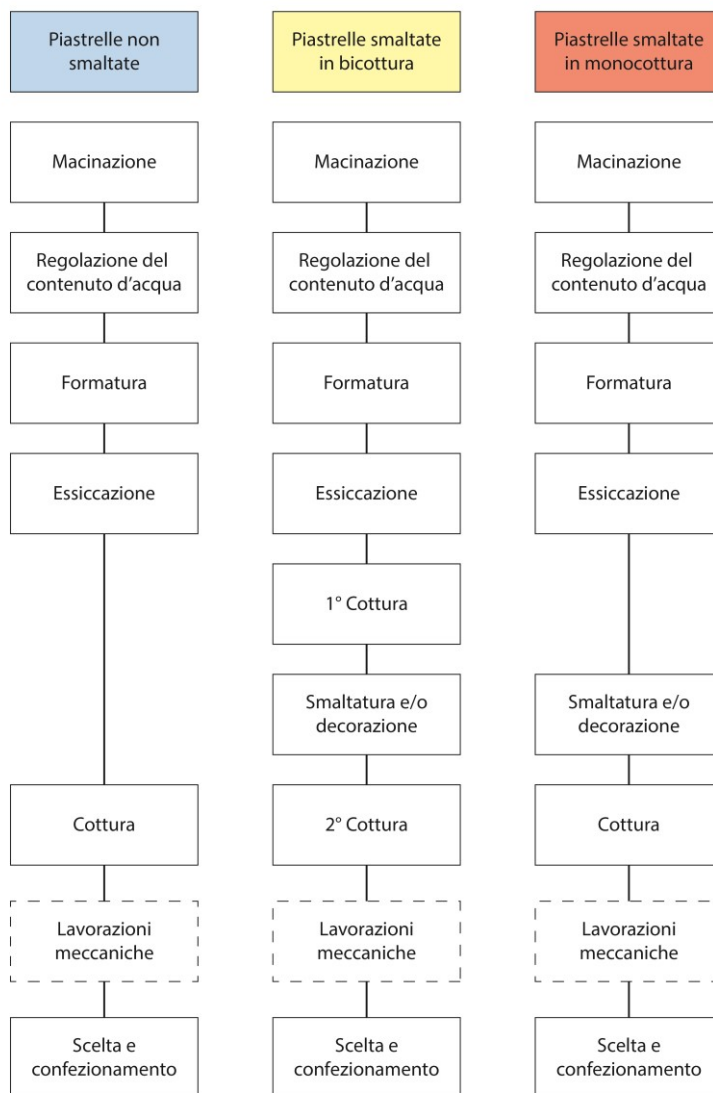


Figura 1. Processo produttivo delle piastrelle di ceramica

In generale un processo "a ciclo completo" inizia con la fase di stoccaggio e preparazione delle materie prime che consiste in due operazioni fondamentali: la macinazione e la regolazione del contenuto d'acqua. Tali operazioni variano in funzione del tipo di materia prima utilizzata e delle caratteristiche tecniche del prodotto che si vuole ottenere. Solitamente, la macinazione è eseguita a umido e successivamente, attraverso un processo di atomizzazione, si ottiene l'atomizzato ovvero un semilavorato con un contenuto di umidità (circa 4÷7%) ottimale per la successiva fase di pressatura. La pressatura è il sistema di formatura più largamente utilizzato e permette di conferire una forma e una consistenza meccanica alla piastrella "verde" o cruda, sufficiente per il suo spostamento. Successivamente la piastrella viene essiccata in modo da eliminare l'acqua residua attraverso un processo di evaporazione superficiale e diffusione interstiziale. Tale processo permette di irrobustire il prodotto pressato, di evitare deformazioni o fessurazioni durante la cottura e di ridurre il tempo di durata del ciclo di cottura. Le fasi successive possono prevedere la smaltatura

e/o la decorazione che permette di ricreare grafiche complesse sulla superficie delle piastrelle. Il supporto ceramico – con o senza smalto/decorazione – viene successivamente cotto ad alta temperatura (circa 1000÷1200°C), in modo da conferire al prodotto finito le caratteristiche meccaniche di resistenza finali. In generale per i prodotti non smaltati (grès rosso, grès porcellanato non smaltato, cotto) la cottura avviene con un unico trattamento termico del supporto ceramico. Per le piastrelle smaltate prodotte secondo la tecnologia della bicottura (maiolica, cottoforte) il consolidamento prevede invece due trattamenti termici distinti: il primo consiste nella cottura del supporto ceramico o “biscotto”; il secondo consiste nella cottura dello smalto e dell’eventuale decoro superficiale. Infine, le piastrelle smaltate prodotte secondo la tecnologia della monocottura (monocottura chiara e rossa, monoporosa chiara e rossa, grès porcellanato smaltato) richiedono un singolo trattamento termico avente lo scopo di consolidare sia il supporto che lo smalto/decoro (5). Al termine del processo di cottura, le piastrelle possono essere soggette a lavorazioni meccaniche di finitura tra cui: taglio, rettifica, lappatura, levigatura, etc. Al termine delle lavorazioni, le piastrelle vengono stoccate in appositi depositi, in attesa delle operazioni di scelta e imballaggio. Il processo “a ciclo parziale” si differenzia da quello “completo” in quanto vengono effettuate solo alcune delle fasi principali. In particolare, la maggior parte degli stabilimenti “a ciclo parziale” non necessita della fase di preparazione delle materie prime in quanto l’atomizzato viene acquistato esternamente.

3.1 Preparazione delle materie prime

La preparazione consiste in una serie di operazioni aventi lo scopo di ottenere un materiale di composizione omogenea, con una distribuzione granulometrica e un contenuto d’acqua ottimali per il sistema di pressatura scelto. Le operazioni coinvolte nel processo di preparazione delle materie prime sono la macinazione e la regolazione del contenuto d’acqua. Tali operazioni possono essere effettuate secondo tre diversi processi (Figura 2):

- Processo a secco tradizionale
- Processo a secco con granulazione
- Processo a umido

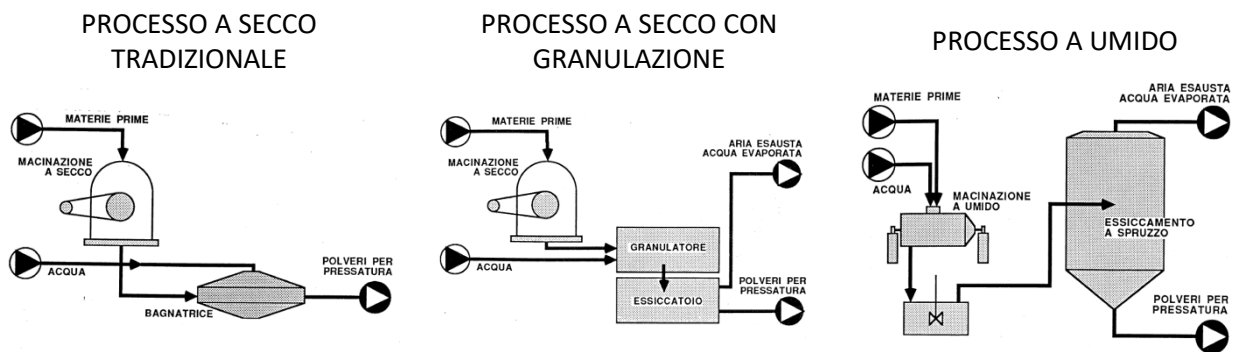


Figura 2. Processi di preparazione delle materie prime (6)

Il criterio fondamentale di scelta tra i tre processi si basa sul tipo di materia prima utilizzata e sulle caratteristiche tecniche del prodotto che si vuole ottenere. Il processo più utilizzato è quello a umido per la produzione di piastrelle in grès porcellanato e monocottura, mentre il processo a secco tradizionale, seppur meno dispendioso dal punto di vista energetico, viene utilizzato per la produzione di piastrelle in bicottura. Il processo a secco con granulazione è stato introdotto nel settore delle piastrelle di ceramica all’inizio degli anni ’80 e le successive ricerche ne hanno favorito l’applicazione dapprima ai prodotti in pasta rossa e chiara fino alla produzione del grès porcellanato.

3.1.1 Macinazione

Nel processo a umido (Figura 2), la macinazione avviene all'interno di mulini discontinui o continui, in cui le materie prime vengono miscelate in acqua e macinate mediante il rotolamento e il continuo urto con i corpi macinanti (in silice o allumina). La macinazione a umido permette di ottenere una migliore omogeneizzazione delle materie prime ed un'elevata riduzione granulometrica delle particelle, che possono raggiungere diametri inferiori a 50 μm . La sospensione acquosa ottenuta al termine della macinazione a umido viene chiamata "barbottina" e ha un contenuto d'acqua pari al 30÷40%. Nei mulini discontinui il ciclo di lavoro prevede tre operazioni in successione:

- Carico delle materie prime, dell'acqua e degli additivi
- Macinazione
- Scarico della barbottina

I mulini continui permettono, rispetto a quelli discontinui, una produzione maggiore a parità di volume della camera di macinazione, in quanto le operazioni di carico e scarico avvengono senza interruzioni. I mulini continui possono essere suddivisi in una, due o tre camere mediante setti separatori, dotati di aperture, che permettono di regolare il flusso e il tempo di permanenza della barbottina e di dividere i corpi macinanti secondo dimensione, tipo di materiale e zona di permanenza. Gli ultimi modelli di mulini continui, chiamati mulini modulari, sono composti da una serie di due o tre cilindri di macinazione ad una camera, meccanicamente intercambiabili e motorizzati indipendentemente. I mulini modulari permettono di mettere a punto, per ogni impasto, una curva di macinazione ottimale, aumentando la produttività e l'efficienza rispetto ai mulini continui tradizionali. Nel processo a secco tradizionale (Figura 2), le materie prime possono subire un primo processo di frantumazione ad opera di mulini "granulatori" (frantoi, frangizolle o mulini ad impatto) ed essere successivamente macinate in mulini "finitori" (a martelli, a pioli, pendolari o a tamburo). La tecnologia impiegata varia in funzione del grado di omogeneità delle materie prime, della granulometria del materiale in ingresso e in uscita, nonché dal tipo di azione macinante esercitata. La polvere così ottenuta è composta da particelle di diametro massimo intorno a 0,5 mm con un contenuto d'acqua del 2÷3%. A valle dei mulini finitori possono essere impiegati dei vibrosetacci per effettuare una vagliatura della polvere e un eventuale sistema di deferrizzazione. Nel processo a secco con granulazione (Figura 2) viene effettuata una macinazione con speciali mulini che permettono di ottenere una polvere molto più fine di quella ottenibile con i mulini a secco tradizionali.

3.1.2 Regolazione del contenuto d'acqua

La regolazione del contenuto d'acqua ha lo scopo di preparare una polvere con un'umidità finale del 4÷7% ottimale per la successiva fase di pressatura. Nel processo a umido (Figura 2), l'umidità residua della barbottina, ottenuta al termine della macinazione, viene regolata attraverso un'operazione di essiccazione a spruzzo o atomizzazione. Durante questa operazione la barbottina viene prelevata dalle vasche di stoccaggio e nebulizzata ad alta pressione all'interno di un atomizzatore (Figura 3).

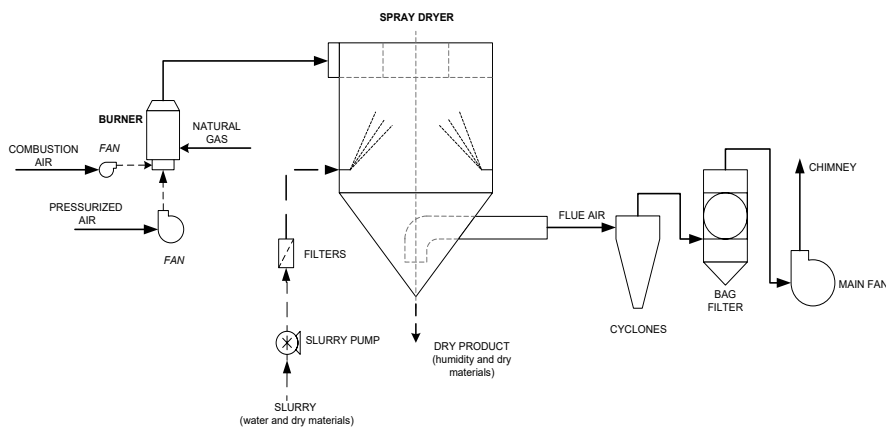


Figura 3. Layout schematico di un atomizzatore (7)

Nell'atomizzatore, la barbottina incontra un flusso di aria calda (500÷600 °C), generato dalla combustione di gas naturale, che porta ad un'evaporazione pressoché immediata dell'acqua superficiale ed alla trasformazione della barbottina in atomizzato. L'atomizzato è composto da granuli dalla forma sferoidale aventi un'umidità residua del 4÷7% e dimensioni comprese tra 0.1 e 1 mm. Le caratteristiche dell'atomizzato consentono una migliore scorrevolezza dei grani e un riempimento ottimale degli stampi da pressatura. L'applicazione degli atomizzatori nell'industria delle piastrelle di ceramica ha così ottimizzato il processo di pressatura favorendo una migliore agglomerazione delle polveri fini (<125 µm) e un alto grado di compattezza nel prodotto formato. La fase di atomizzazione è responsabile del 36% dei consumi di energia termica dell'intero processo produttivo (8). Nel processo a secco tradizionale (Figura 2), la regolazione del contenuto d'acqua avviene attraverso un'operazione di umidificazione. Tale operazione, effettuata in apposite bagnatrici, permette di raggiungere un'umidità finale del 4÷7% con un dispendio di energia irrilevante. Nel processo a secco con granulazione (Figura 2), la regolazione del contenuto d'acqua avviene all'interno di una macchina, detta granulatore, in cui viene aggiunta acqua all'impasto fino a raggiungere un contenuto di umidità del 10÷15%, superiore rispetto a quello richiesto per la pressatura. L'umidità in eccesso è poi eliminata in un successivo passaggio mediante essiccazione a letto fluido. La polvere così ottenuta, detta granulato, è morfologicamente simile all'atomizzato, ma presenta una densità apparente maggiore che ne ostacola la compattazione in fase di pressatura. Rispetto al processo a secco tradizionale, il processo a secco con granulazione denota un fabbisogno aggiuntivo di energia termica dato dall'essiccazione del granulato. Tuttavia, rispetto al processo a umido, è energeticamente meno dispendioso a causa del minor quantitativo d'acqua da evaporare.

3.2 Formatura

Il processo di formatura più largamente utilizzato per le piastrelle di ceramica è la pressatura. Nella fase di pressatura le materie prime, ottenute secondo le modalità descritte nei paragrafi precedenti, vengono compresse tra due superfici al fine di ottenere la forma finale della piastrella e di conferire determinate caratteristiche meccaniche al pezzo crudo. L'azione di pressatura comprende una serie di operazioni tra cui:

- Caricamento della polvere
- Pre-compattazione
- Disaerazione
- Compattazione

La tecnologia tradizionale, caratterizzata da un funzionamento discontinuo, è costituita da presse idrauliche a basso tonnellaggio per la produzione di piastrelle in formato standard. Negli ultimi anni, la continua tendenza all'aumento dei formati e il progressivo arricchimento estetico delle piastrelle già in fase di formatura hanno portato a sviluppare dapprima presse idrauliche a più alto tonnellaggio e, successivamente, la tecnologia di pressatura in continuo (Figura 4).

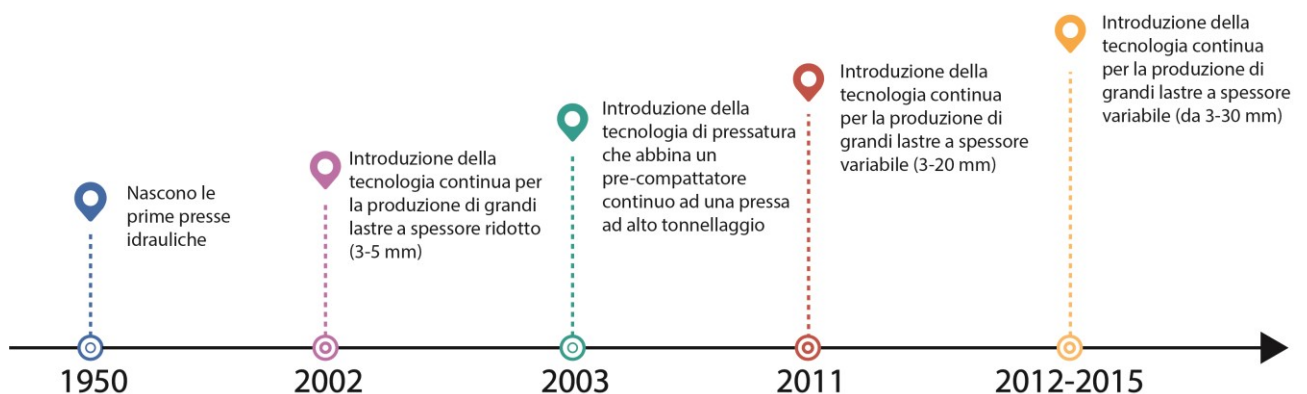


Figura 4. Evoluzione temporale delle tecnologie di pressatura

Nella pressatura in continuo il caricamento e la compattazione delle polveri avvengono direttamente sul nastro di trasporto, che permette di produrre superfici lisce o strutturate senza l'utilizzo di stampi. Tale processo permette di replicare con un unico sistema in linea le molteplici azioni svolte da una pressa idraulica e di realizzare facilmente lastre ceramiche di grande formato e a spessore variabile (3-30 mm). Questa tecnologia può eventualmente essere implementata attraverso dei dispositivi di decorazione per colorare in "vena" l'impasto ceramico, creando effetti in massa, e dei sistemi per il taglio e il rifilo della lastra cruda.

3.3 Essiccazione

La fase di essiccazione ha la funzione di asportare dal prodotto pressato l'acqua residua attraverso un processo di evaporazione superficiale e diffusione interstiziale. Tale processo permette di irrobustire il prodotto, rendendolo adatto ad essere movimentato, e di ridurre il tempo del successivo ciclo di cottura. Gli essiccatoi maggiormente utilizzati nel comparto delle piastrelle ceramiche sono sia del tipo verticale che orizzontale per l'essiccazione dei grandi formati. In generale, la fase di essiccazione è responsabile del 9% dei consumi di energia termica dell'intero processo produttivo (8).

Gli essiccatoi verticali sono costituiti da una struttura, dotata di fondazioni, in cui si muovono, mediante un sistema a catene, dei cestelli sui quali sono posizionate le piastrelle da essiccare. Il circuito termico dell'essiccatoio è suddiviso in zone a diverse condizioni di temperatura e umidità. L'essiccamento è realizzato tramite un flusso di aria calda, generato da un sistema di bruciatori e ventilatori, in cui lo scambio termico avviene per convezione. La temperatura negli essiccatoi verticali è inferiore a 200 °C e i tempi di ciclo variano da 35 a 50 minuti. Gli essiccatoi orizzontali non necessitano di fondazioni e sono costituiti da una serie di moduli indipendenti dal punto di vista termometrico. Esistono tipologie di essiccatoi orizzontali mono e multipiano, questi ultimi sono principalmente impiegati in impianti con grandi capacità produttive o nelle linee per la produzione delle lastre ceramiche. L'essiccamento è realizzato tramite un flusso di aria calda, generato da un sistema di bruciatori e ventilatori, in cui lo scambio termico avviene sia per convezione che per irraggiamento. Rispetto alla tipologia verticale, i tempi di ciclo sono compresi tra i 15÷25 minuti e la temperatura di esercizio è superiore (circa 350 °C).

3.4 Smaltatura e decorazione superficiale

L'operazione di smaltatura consiste nella preparazione e nella successiva applicazione di un rivestimento sul supporto ceramico crudo, nel caso della monocottura, o cotto, nel caso della bicottura. Tale rivestimento, in fase di cottura, vetrifica conferendo alla piastrella le caratteristiche estetiche finali ed un basso assorbimento dell'acqua. La decorazione superficiale permette di ricreare sul supporto ceramico grafiche complesse utilizzando appositi semilavorati (graniglie, paste serigrafiche, inchiostri, etc.)

3.4.1 Preparazione degli smalti

Gli smalti tradizionali contengono fritte, pigmenti e altri componenti con funzione di opacizzanti o additivi fondenti. La preparazione degli smalti consiste nel dosaggio delle materie prime e nella successiva macinazione in acqua in mulini a tamburo a funzionamento discontinuo. Lo smalto così ottenuto viene generalmente stoccato in vasche munite di agitatori.

3.4.2 Applicazione degli smalti/decori

Lo smalto e tutti gli altri semilavorati utilizzati per la decorazione superficiale vengono prelevati e inviati al reparto di smaltatura dove il supporto ceramico avanza su una o più linee di trasporto motorizzate lungo le quali sono disposte le specifiche tecnologie di applicazione. Le tecnologie tradizionali per l'applicazione degli smalti sono del tipo "a velo" (a campana, filiera) o del tipo "a spruzzo" (dischi rotanti, aerografo), mentre per la decorazione superficiale si utilizzano macchine serigrafiche (piane, rotative, a rulli) o applicatori a secco di graniglie e polveri. L'evoluzione impiantistica degli ultimi anni ha portato all'introduzione della tecnologia digitale di stampa a getto d'inchiostro che prevede l'uso di pigmenti a grana fine dispersi in mezzi organici. Se da un lato la tecnologia digitale di stampa ha permesso di migliorare alcuni aspetti fondamentali, come la riduzione del fabbisogno idrico e la minore produzione di scarti, dall'altro la presenza di sostanze organiche a bassa volatilità contribuisce all'impatto ambientale in fase di cottura. Per risolvere tale problematica,

recenti studi si stanno concentrando sull'utilizzo di composti a base d'acqua di nuova generazione (9). Ulteriori tecnologie digitali permettono l'applicazione di smalti o di graniglie per ricreare effetti in rilievo.

3.5 Cottura

Durante la fase di cottura il supporto ceramico – con o senza smalto/decorazione – viene cotto ad alta temperatura (circa 1000÷1200°C) in modo da conferire al prodotto finito le caratteristiche meccaniche di resistenza finali. La cottura tradizionale avveniva in forni a tunnel, costituiti da una galleria in materiale refrattario, di lunghezza fino a 100÷130 m (5). A partire dagli anni 70' è stata introdotta la cottura rapida in forni a rulli monostrato con tempi di ciclo e consumi termici inferiori, rispetto alla tipologia dei forni a tunnel, grazie anche all'eliminazione della supportoria refrattaria (10). Oggi la cottura avviene principalmente all'interno di forni continui a rulli monostrato o bicanali (utilizzati per il minor spazio) composti dalle seguenti sezioni:

- Preforno
- Preriscaldamento
- Cottura
- Raffreddamento

Nel preforno, costituito in alcuni casi da un essiccatoio all'ingresso del forno, il materiale perde l'acqua igroscopica residua e si avvia l'eliminazione dell'acqua zeolitica presente nelle argille. Nel preriscaldamento si ha la degasazione del corpo ceramico, indispensabile perché non si producano in cottura rigonfiamenti, bolle e porosità. Il preriscaldamento del materiale può avvenire mediante un impianto di bruciatori o ad opera dei gas caldi prodotti dalla combustione e che si muovono in controcorrente rispetto al materiale a causa del tiraggio del camino, la cui bocca di aspirazione è situata in prossimità dell'ingresso del forno. La sezione di cottura è quella interessata dalle temperature massime ed è dotata di un sistema di bruciatori in parete disposti sopra e sotto il piano rulli. La sezione terminale del forno è quella destinata al raffreddamento del materiale ceramico. Il raffreddamento viene effettuato sia direttamente, attraverso un sistema di tubi soffiatori che immettono aria fredda, sia indirettamente, per irraggiamento verso le pareti del forno o verso un fascio di tubi percorsi da aria fredda. In generale, la fase di cottura è responsabile del 55% dei consumi di energia termica impiegata nell'intero processo produttivo (8).

3.6 Lavorazioni meccaniche

A valle del processo di cottura, le piastrelle possono essere sottoposte ad ulteriori lavorazioni di finitura tra cui:

- Taglio: operazione mediante incisione superficiale con un disco diamantato e un successivo colpo meccanico. Permette di ottenere dei sotto formati della dimensione desiderata.
- Rettifica o squadratura: permette di ottenere piastrelle con bordi perfettamente squadrati e monocalibro. Viene effettuata a umido o a secco mediante macchine di taglio, mole diamantate e macchine di fresatura. La tecnologia a umido consumo meno soprattutto nei periodi di inattività in cui, a differenza di quella a secco, i motori vengono fermati e, inoltre, non necessitano di particolari aspirazioni. Questo beneficio in termini energetici viene però attenuato dalla più gravosa manutenzione che le caratterizzano rispetto a quelle a secco.
- Levigatura/Lucidatura: operazione che consiste nella rimozione controllata di uno strato superficiale delle piastrelle mediante macchine lucidatrici o dischi abrasivi
- Lappatura: operazione di abrasione che dona alle piastrelle una superficie abbastanza liscia ma non completamente lucida e riflettente
- Smussatura: predisposizione di alcuni pezzi per finiture speciali (piastrelle da rivestimento con bordo smussato o con forature già definite per particolari impianti tecnici)

Alcuni prodotti possono prevedere l'incollaggio su rete di carta o fibra di vetro mediante colla vinilica, utilizzando un impianto automatico di alimentazione ed incollaggio.

3.7 Scelta e confezionamento

All'uscita del forno il materiale cotto viene inviato alle linee di scelta in cui viene effettuata un'analisi qualitativa (aspetto visivo, tono, presenza difetti) e un'analisi dimensionale/geometrica (lunghezza, larghezza, rettilinearità dei lati, ortogonalità e planarità) sul prodotto finito. In base ai risultati dei controlli effettuati, le piastrelle vengono selezionate e suddivise in diverse classi (prima scelta, seconda scelta e scarto cotto). Una volta terminato il processo di selezione, le piastrelle sono confezionate – a seconda del formato, dello spessore delle piastrelle e del tipo di confezione – inscatolate ed imballate in pallet. Il materiale inscatolato e pallettizzato può quindi essere inviato ad una linea di termoretrazione per una ulteriore protezione prima dell'immagazzinamento e della spedizione.

4 Le emissioni di settore

Fin dagli anni '70, l'industria italiana delle piastrelle di ceramica – in ragione dell'alta concentrazione di imprese sul territorio – ha ampiamente studiato gli impatti ambientali legati ai processi produttivi e ha

promosso un percorso strategico finalizzato alla riduzione delle emissioni e degli sprechi in campo energetico, idrico e di sfruttamento delle risorse naturali. Le emissioni in atmosfera rappresentano uno dei principali fattori di impatto ambientale sul quale l'attenzione dei legislatori, dell'industria e della ricerca istituzionale si è maggiormente concentrata. Le nuove tecnologie produttive e l'adozione di un'impiantistica di depurazione all'avanguardia hanno permesso all'industria ceramica italiana di ridurre, a partire dagli anni 2000, le emissioni inquinanti in atmosfera di oltre il 90% (11). Ogni fase del processo produttivo delle piastrelle di ceramica comporta lo scarico in atmosfera di emissioni gassose che in funzione della temperatura possono essere classificate in emissioni fredde ed emissioni calde. Le emissioni fredde, caratterizzate da una temperatura prossima a quella ambiente, sono riconducibili ai sistemi di aspirazione necessari per prevenire la dispersione delle polveri negli ambienti di lavoro. Le emissioni calde hanno invece una temperatura superiore a quella ambiente e provengono da quelle fasi in cui avviene un processo di combustione. In Tabella 2 sono riassunti gli inquinanti maggiormente presenti nelle emissioni gassose dei processi di produzione delle piastrelle in grès porcellanato, che rappresentano il prodotto di punta del settore ceramico italiano (12).

Fase	Operazione principale	Inquinanti
Preparazione materie prime	Macinazione a secco	PM
	Macinazione a umido	PM
	Atomizzazione	PM, F, NO _x , CO, CO ₂
Pressatura		PM
Essiccazione		PM, CO ₂
Preparazione smalti e smaltatura		PM, VOC
Cottura		PM, F, NO _x , SO _x , CO ₂ , VOC
Lavorazioni meccaniche		PM
Scelta e confezionamento		VOC

Tabella 2. Fasi di produzione delle piastrelle in grès porcellanato e indicazione dei principali inquinanti generati (PM: materiale particolato, F: composti del fluoro, NO_x: ossidi di azoto, CO: ossido di carbonio, SO_x: ossidi di zolfo, CO₂: diossido di carbonio, VOC: composti organici volatili)

Poiché la lavorazione ceramica è riconducibile ad una tecnologia delle polveri, il materiale particolato (PM) costituisce il principale inquinante presente nelle emissioni dovute alla preparazione delle materie prime e alla loro trasformazione durante le fasi di atomizzazione e pressatura. La polvere ceramica rilasciata viene aspirata da sistemi di aspirazione e convogliata attraverso i sistemi di filtrazione, prima di essere scaricata dai canali di emissione, o camini. Ad eccezione di un numero limitato di impianti che utilizzano un abbattimento ad umido, i dispositivi di filtrazione generalmente adottati nel distretto ceramico italiano sono del tipo a tessuto filtrante, in grado di assicurare efficienze di abbattimento del materiale particolato superiori rispetto agli impianti a umido. Oltre al materiale particolato, le emissioni dagli atomizzatori contengono prodotti di combustione, in particolare diossido di carbonio (CO₂), ossidi di azoto (NO_x) e ossido di carbonio (CO), nel caso in cui l'atomizzatore operi in collegamento con un impianto di cogenerazione. Le emissioni degli impianti di essiccazione sono emissioni calde contenenti principalmente materiale particolato e CO₂. Le temperature raggiunte in questa fase sono sufficientemente basse da prevenire qualunque fenomeno di decomposizione o reazione dei composti presenti nell'impasto, con conseguente formazione di inquinanti gassosi. Il fluoro (F) è un altro degli inquinanti tipici dell'industria ceramica e uno dei più importanti a livello quantitativo. Le emissioni interessate dalla presenza di composti gassosi del fluoro sono quelle dai forni di cottura. Per le emissioni dei forni, la tecnica riconosciuta come la più efficiente ed affidabile è quella basata sull'uso di filtri a maniche di tessuto, con pre-rivestimento in reagente solido (idrossido di calcio, carbonato di sodio) per l'assorbimento dei composti gassosi del fluoro (13). Un altro importante inquinante potenzialmente rilasciato durante la cottura è il piombo (Pb), elemento presente in alcune formulazioni di smalti. La decomposizione dei composti del piombo rilascia ossido di piombo (PbO), che può essere espulso attraverso i canali di emissione. Tuttavia, l'innovazione tecnologica ha quasi del tutto eliminato l'uso di metalli pesanti, come il piombo. Inoltre, il boro è oggi utilizzato al posto del piombo nelle formulazioni di fritte e smalti sotto forma di ossido di boro o altri minerali contenenti boro. Un ulteriore fattore di impatto ambientale, associato alle

emissioni in atmosfera e caratterizzato attualmente da un crescente interesse nel settore, è rappresentato dalle emissioni di composti organici volatili (VOC), ed in particolare dalle aldeidi, dovuti alla non completa combustione in anidride carbonica delle sostanze (quali resine viniliche, alcoli, glicoli e poliglicoli, amidi, etc) utilizzate in fase di smaltatura e decorazione. La presenza di questo tipo di inquinanti nelle emissioni può portare a odori indesiderati in prossimità degli impianti ceramici, impattando in tal modo sul livello di comfort dei residenti locali. L'innovazione nella tecnologia della decorazione digitale, oltre ad aver apportato significative migliorie a livello ambientale grazie ad una riduzione delle materie prime e delle risorse idriche impiegate, mira a sperimentare nuovi inchiostri a base d'acqua per ridurre le emissioni di VOC e aldeidi (9). Durante la cottura possono essere utilizzati dispositivi di post combustione per raggiungere la completa ossidazione delle sostanze organiche. Secondo quanto riportato in (14) la concentrazione dei principali inquinanti emessi dagli impianti di piastrelle di ceramica (particolato, fluoro e piombo) è diminuita progressivamente e risulta inferiore ai limiti riportati nel documento relativo alle *Best Available Techniques* (BAT). Rispetto alle emissioni degli ossidi di azoto durante i processi di combustione, lo studio condotto ha evidenziato un modesto, ma costante incremento negli anni, probabilmente dovuto ai maggiori spessori delle piastrelle presenti oggi sul mercato. Per quanto riguarda l'anidride carbonica, i dati settoriali (15) derivanti dai Report AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) e trasmessi ogni anno dalle aziende ceramiche, indicano che le emissioni si attestano nell'intervallo tra 3 e 9 kg/m², con variazioni dovute al tipo di prodotto realizzato e al ciclo di lavorazione.

5 I consumi energetici di settore

L'alto fabbisogno energetico richiesto dal ciclo produttivo colloca il settore delle piastrelle di ceramica tra gli *energy intensive*, incidendo per il 20% sul costo di produzione finale (16). Il processo produttivo di uno stabilimento ceramico può essere schematizzato come in Figura 5, dove si evidenzia la distribuzione dei principali vettori energetici nei vari reparti di trasformazione del prodotto. Il vettore elettrico è utilizzato in tutti i reparti in quanto aziona i motori elettrici, l'aria compressa e i filtri, o è impiegato per movimentare il

materiale attraverso i nastri trasportatori. La maggior parte del consumo energetico è tuttavia riconducibile all'utilizzo di gas naturale nei reparti di essiccazione, atomizzazione, cottura e di scelta e confezionamento. I consumi elevati di gas naturale dipendono dall'impossibilità di fermare determinati impianti anche quando la produzione è sospesa. Ad esempio, in caso di vuoto di produzione, la temperatura del forno è solamente abbassata in attesa della ripresa del flusso produttivo.

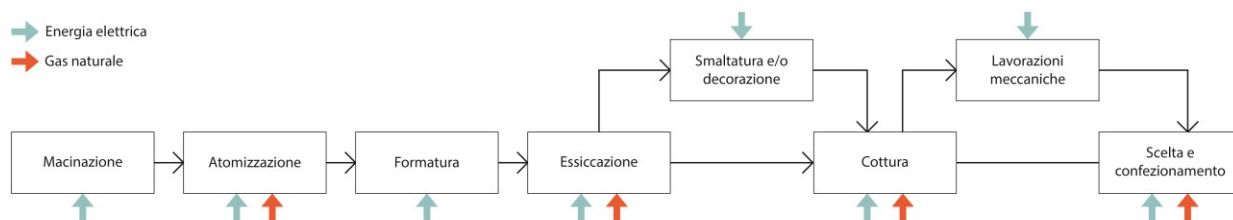


Figura 5. Ripartizione dei vettori energetici nel ciclo produttivo delle piastrelle di ceramica

La ripartizione dell'energia elettrica e del gas naturale impiegati in ogni singola fase può inoltre variare tra uno stabilimento e l'altro, in base al processo produttivo, alla tecnologia impiegata e alle tipologie di piastrelle prodotte.

5.1 Individuazione delle fonti bibliografiche

Al fine di definire una caratterizzazione energetica media settoriale, è stata condotta un'indagine sulle performance di un campione di stabilimenti produttivi. I dati necessari a costruire i modelli energetici sono stati ricavati dalle fonti descritte di seguito.

5.1.1 Diagnosi Energetiche

Il D.lgs 102 del 4 luglio 2014, in attuazione della Direttiva 2012/27/UE sull'Efficienza Energetica, prevede l'obbligo per le imprese che si configurano come "Grandi Imprese" (aziende che occupano più di 250 unità effettive ed hanno un fatturato superiore a 50 milioni di euro o un totale di bilancio annuo superiore a 43 milioni di euro) e/o "Energivore" (intese come aziende iscritte nell'elenco annuale istituito presso la Cassa per i servizi energetici e ambientali CSEA) di effettuare una Diagnosi Energetica ed inviarla all'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA) con cadenza quadriennale. La Diagnosi Energetica (o Energy Audit, EA) è una procedura sistematica indirizzata ad ottenere un'adeguata conoscenza del profilo energetico di un'azienda, attraverso l'analisi dello stato attuale dei consumi e l'individuazione degli opportuni Indici di Prestazione Energetica (IPE) relativi a ciascun vettore energetico ed ogni area funzionale che caratterizzano il sito oggetto d'analisi. La Diagnosi, oltre ad essere un documento obbligato per i soggetti coinvolti, risulta utile in quanto permette di diminuire l'incidenza della spesa energetica annuale, di diminuire le emissioni di gas climalteranti e di aumentare l'efficienza energetica interna. Nelle Diagnosi Energetiche, ogni azienda viene suddivisa secondo uno schema di flusso riportato in Figura 6, che determina la struttura energetica aziendale e che può essere facilmente utilizzato in tutte le realtà produttive e adattato ad ogni singola realtà.

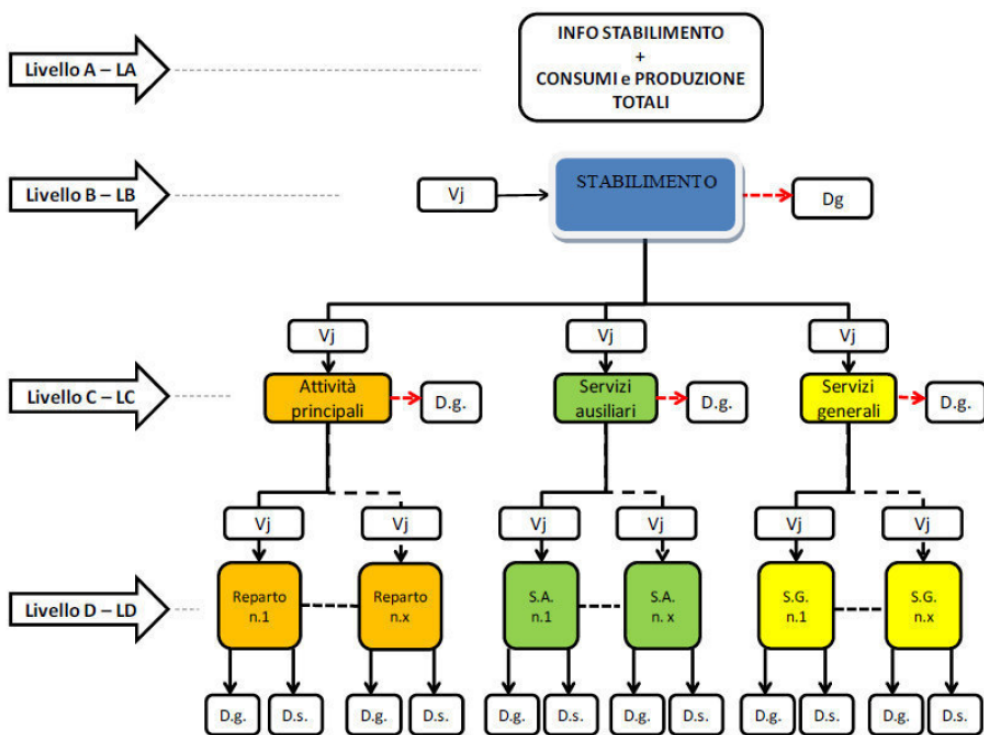


Figura 6. Struttura energetica aziendale

La struttura energetica aziendale presenta 4 livelli di seguito definiti:

- Livello A (LA)
- Livello B (LB)
- Livello C (LC)
- Livello D (LD)

Il livello A (LA) identifica l'insieme dei vettori energetici che "entrano" in azienda in maniera diretta, ovvero sono oggetto di fornitura esterna e non di trasformazione interna all'azienda stessa.

Il livello B (LB) costituisce il punto di estrema sintesi della struttura energetica relativa a ciascun vettore V_j , con j che varia da 1 a n e dove n è il numero dei vettori energetici utilizzati.

Il livello C (LC) costituisce una prima schematizzazione della struttura energetica aziendale, ed è caratterizzato dalla suddivisione del vettore energetico V_j in esame nelle seguenti macro-aree di seguito dettagliate:

- attività principali ("aree funzionali", "lavorazioni" o "reparti") In tale descrizione vengono inserite tutte le attività legate all'articolazione della produzione o che caratterizzano il servizio erogato, distinte per tipologia di prodotto/servizio laddove applicabile, e strutturate in fasi funzionali ben distinte.
- servizi ausiliari (c.d. "utilities"): In tale descrizione vengono inserite tutte le attività a supporto delle attività principali quali ad esempio il sistema di produzione dell'aria compressa, la centrale termica, la centrale frigo, i sistemi di aspirazione, di movimentazione dei materiali, ecc.
- servizi generali: In tale descrizione vengono inserite tutte le attività che sono connesse al processo produttivo/ servizio offerto i cui fabbisogni però non sono ad essi strettamente correlati. In questo contesto entrano in gioco l'illuminazione, il riscaldamento, la climatizzazione in generale, gli uffici, ecc.

Il livello D (LD) è la parte che individua la struttura dell'utilizzo di ciascun vettore energetico in quanto costituisce di fatto l'insieme delle utenze che consentono di caratterizzare la realtà aziendale in maniera dettagliata e strutturata.

In definitiva, la struttura energetica aziendale permette di assegnare un indice prestazionale (consumo specifico) significativo ad ogni fase che costituisce la realtà aziendale, mettendo in correlazione l'energia consumata sia con il prodotto finito, sia con la sua specifica destinazione d'uso. Ciò consente di valutare per ogni fase significativa della realtà aziendale sia lo specifico indice prestazionale, che il suo peso rapportato al fabbisogno energetico complessivo.

Ai fini dell'adempimento dell'obbligo di Diagnosi Energetica, ogni azienda deve compilare una serie di allegati tra cui un foglio di calcolo (foglio F) e un rapporto di diagnosi in formato .pdf. Un template relativo al foglio F per il settore ceramico è riportato in Figura 7. La prima sezione sintetizza le principali informazioni del sito produttivo in relazione ai consumi energetici riferiti all'anno solare precedente all'anno n-esimo di obbligo di presentazione della Diagnosi. In questa sezione è altresì necessario specificare eventuali quantità di energia autoprodotta da fonti rinnovabili indicandone l'autoconsumo. In aggiunta ai consumi energetici, è richiesto di inserire le quantità di prodotto intermedio (atomizzato) e finito annualmente generato nello stabilimento produttivo. La seconda sezione è dedicata al reperimento delle macro-informazioni riguardanti il sistema di produzione combinata (cogeneratore), se presente nel sito produttivo. La terza sezione è invece rivolta all'analisi dei consumi energetici classificando i vettori elettrici e termici nelle macro-aree (Attività Principali, Servizi Ausiliari e Servizi Generali) che definiscono la struttura energetica aziendale. Un'ultima parte, non riportata in Figura 7, è relativa ai consumi per autotrazione.

5.1.2 Autorizzazione Integrata Ambientale

L'Autorizzazione Integrata Ambientale è un provvedimento autorizzativo che mira a verificare la compatibilità ambientale di quelle aziende che vogliono uniformarsi ai principi di *Integrated Pollution Prevention and Control* (IPPC) dettati dall'Unione Europea con la Direttiva 96/61/CE, oggi sostituita dalla Direttiva 2010/75/UE sulle emissioni industriali (IED). In Italia tale direttiva è stata recepita con il D.Lgs. 4 marzo 2014 n. 46, che modifica il D.Lgs. 152/06, il quale disciplina il rilascio, l'aggiornamento e il riesame dell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) degli impianti coinvolti. L'Agenzia Prevenzione Ambiente Energia dell'Emilia-Romagna (ARPAE), in attuazione alla L.R. n. 13/2015, svolge le funzioni amministrative di "autorità competente" per conto della Regione Emilia-Romagna in materia AIA.

5.1.3 BAT – D.M. 29/01/2007

Le migliori tecniche disponibili o *Best Available Techniques* (BAT) individuano le soluzioni impiantistiche, di controllo e di gestione intese a garantire un basso livello di emissioni inquinanti, l'ottimizzazione dei consumi di materie prime, prodotti, acqua ed energia e un adeguata prevenzione degli incidenti. Indicazioni sulle BAT per la fabbricazione delle piastrelle di ceramica sono riportate nei BRefs (*BAT Reference documents*) e nelle Linee Guida relative alle migliori tecniche disponibili emanate con D.M. 29/01/2007 (ex art. 3.2 D.Lgs. n.372/99) per il settore delle piastrelle di ceramica (13).

5.1.4 Guida Operativa GSE

Il D.M. 11 gennaio 2017, modificato a maggio 2018, specifica che il GSE (Gestore dei Servizi Energetici), in collaborazione con ENEA e RSE, predisponga e sottoponga al MISE e al MATTM una Guida Operativa (17) per promuovere l'individuazione, la definizione e la presentazione di progetti nell'ambito del meccanismo dei Certificati Bianchi. La Guida, approvata dal MISE con il Decreto direttoriale del 30 aprile 2019, riporta informazioni utili per la presentazione delle richieste di accesso agli incentivi oltre ad indicazioni sulle potenzialità di risparmio energetico derivanti dall'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili nei diversi settori produttivi. Tale documento oltre a riprende considerazioni contenute nel D.M. 29/01/2007, riporta anche dati di altre fonti tra cui il documento "Piastrelle Ceramiche ed energia" pubblicato da Assopiastrelle e SNAM nel 1998.

5.1.5 Banca Dati

Al fine di promuovere una razionalizzazione degli impieghi di energia nel settore ceramico, Assopiastrelle e SNAM hanno pubblicato il documento "Piastrelle Ceramiche e Energia: banca dati dei consumi energetici nell'industria delle piastrelle di ceramica" (10) contenente i risultati di una campagna, condotta dal Centro Ceramico tra il 1995 e il 1997, che ha interessato oltre 108 unità produttive.

5.2 Analisi del campione di riferimento

5.2.1 Rappresentatività del campione

Nel settore ceramico sono stati raccolti da ENEA, a dicembre 2019, un totale di 197 Diagnosi Energetiche relative all'anno 2018. La raccolta dati ha permesso di individuare un campione di 104 stabilimenti appartenenti a 69 imprese che operano nella fabbricazione di piastrelle in ceramica. Gli stabilimenti sono concentrati per il 91% in Emilia-Romagna e per il resto in Lombardia, Sardegna, Puglia, Veneto, Abruzzo, Piemonte e Campania (Figura 8). Il campione interessa quindi principalmente il distretto reggiano-modenese caratterizzato non solo dalla presenza di imprese ceramiche, ma anche da altre attività di servizio complementari alla produzione di piastrelle.

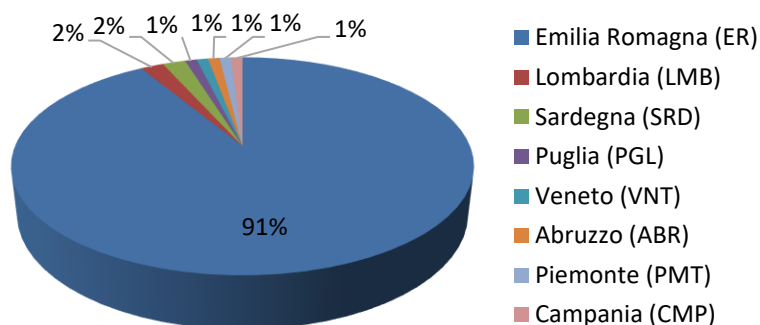


Figura 8. Suddivisione degli stabilimenti per regione

Le aziende analizzate sono in numero esiguo rispetto al totale di aziende del settore presenti al 2018 (69 su 137). Tuttavia, i siti oggetto dell'indagine esprimono complessivamente una produzione di oltre 342 milioni di metri quadrati, pari all'82% della produzione nazionale al 2018 (3). Il livello di produzione del campione testimonia che in esso si concentrano i siti di maggiori dimensioni e con le più elevate dotazioni impiantistiche. L'indagine ha permesso di classificare gli stabilimenti analizzati in funzione del ciclo produttivo:

- 48 hanno un processo produttivo "a ciclo completo" di cui:
 - 19 senza vendita di atomizzato a terzi
 - 29 con vendita di atomizzato a terzi
- 54 hanno un processo produttivo "a ciclo parziale" di cui:
 - 43 privi delle operazioni di preparazione delle materie prime
 - 3 producono solo atomizzato
 - 8 eseguono solo operazioni di fine linea (lavorazioni, scelta e confezionamento)
- 2 sono sedi amministrative

Del campione analizzato, circa l'85% ha compilato correttamente gli allegati delle Diagnosi Energetiche (foglio F e rapporto di diagnosi). Per alcuni stabilimenti, costituiti da grandi imprese, non si applicava l'obbligo di presentazione degli allegati avendo adottato sistemi di gestione conformi EMAS e alle norme ISO 50001 o EN ISO 14001. In particolare, tra gli stabilimenti analizzati, 11 sono dotati di un Sistema di Gestione dell'Energia (SGE) certificato ai sensi della norma ISO 50001. Occorre inoltre precisare che quasi il 50% dei fogli F consegnati corrispondeva alla versione non aggiornata del 2015, questo ha comportato un minor numero di informazioni e di conseguenza una minore accuratezza dei dati contenuti.

5.2.2 Impianti presenti nel campione

Al fine di definire un assetto impiantistico definito “medio” nelle aziende italiane produttrici di piastrelle si è proceduto analizzando i dati e le informazioni contenute all’interno delle Diagnosi Energetiche. Ove possibile, sono state classificate le principali tecnologie e le dotazioni impiantistiche attualmente installate. La Figura 9 riassume gli impianti per la preparazione delle materie prime analizzati.

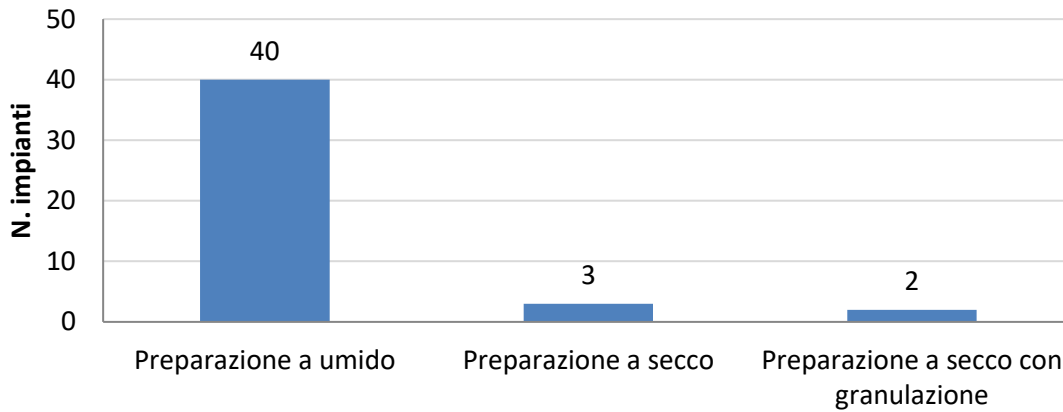


Figura 9. Impianti per la preparazione delle materie prime analizzati

Nella maggior parte dei casi, si tratta di impianti per la preparazione a umido in cui il carico e lo scarico del mulino avviene in maniera continua o discontinua. In particolare la tipologia di impianto “continuo” è quella più comune ed è caratterizzata da una prima sezione in cui le materie prime dell’impasto sono contenute in silos forniti di estrattori in grado di regolare la quantità di materiale scaricato sul nastro pesatore. Le materie prime dosate confluiscono ad un nastro di trasporto che le convoglia ad un silo di carica del mulino continuo. La coclea di alimentazione al mulino è preceduta da un dispositivo di miscelazione delle materie prime e del deflocculante. Al mulino viene quindi aggiunta l’acqua necessaria al processo di macinazione mediante un sistema di pompaggio. Allo scarico del mulino sono collocati dei setacci per arrestare eventuali corpi solidi grossolani. La barbotina così prodotta viene inviata ad una vasca di raccolta mantenuta in agitazione, dalla quale viene direttamente pompata all’atomizzatore oppure destinata al processo di colorazione. Gli impianti che effettuano una preparazione completamente a secco producono solamente piastrelle in bicottura, mentre la granulazione viene utilizzata in zone con difficoltà legate all’approvvigionamento di acqua o di gas naturale. In generale ogni tipologia di impianto per la preparazione delle materie prime dispone di dispositivi per l’aspirazione e il ricambio aria e di sistemi, principalmente costituiti da filtri a maniche, per la depurazione delle emissioni gassose.

Il processo di formatura più largamente utilizzato nelle aziende produttrici di piastrelle di ceramica è la pressatura. La Figura 10 riassume gli impianti di pressatura analizzati.

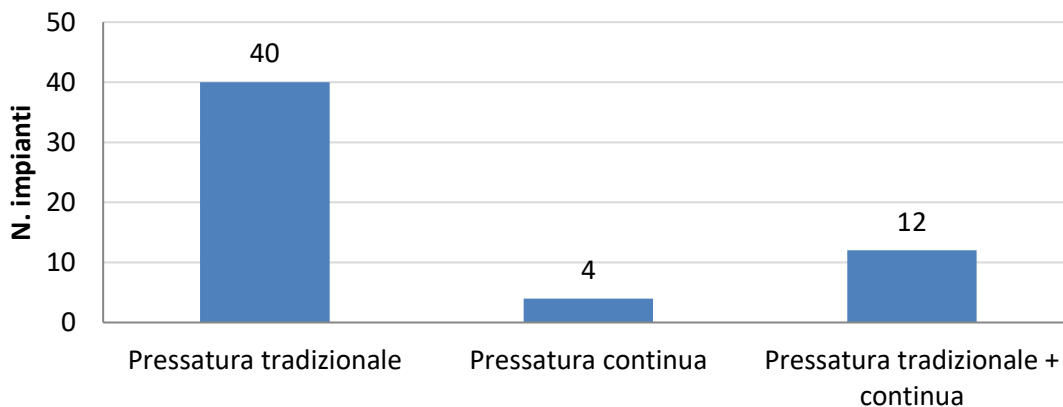


Figura 10. Impianti di pressatura analizzati

La tipologia di impianto maggiormente presente è quella che effettua una pressatura tradizionale, in cui oltre alle presse idrauliche possono essere impiegati dei sistemi di movimentazione del materiale o degli impianti per il raffreddamento dell'olio (torri evaporative, etc). Un impianto di pressatura continuo è costituito da sistemi per l'alimentazione ed il trasporto del materiale, dispositivi di decorazione in vena, presse per la compattazione delle polveri su nastro e sistemi di taglio e rifilo. In generale ogni tipologia d'impianto dispone di dispositivi per l'aspirazione e il ricambio aria e di sistemi, principalmente costituiti da filtri a maniche, per la depurazione delle emissioni gassose.

Gli essiccatoi maggiormente utilizzati nel comparto delle piastrelle ceramiche sono sia del tipo verticale che orizzontale (mono e multi piano). La Figura 10 riassume gli impianti di essiccazione analizzati.

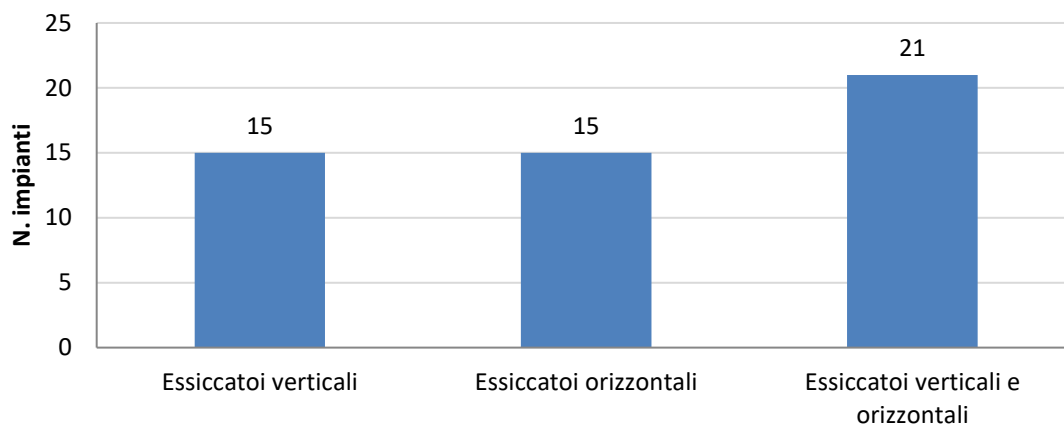


Figura 11. Impianti di essiccazione analizzati

Mediamente gli stabilimenti analizzati hanno 4-5 essiccatoi verticali o 3 essiccatoi orizzontali. Nel caso siano presenti entrambe le tecnologie, si hanno in media 3 essiccatoi verticali e 1 o 2 essiccatoi orizzontali. Per quanto riguarda gli impianti di smaltatura e/o decorazione superficiale, l'indagine condotta non ha potuto definire un impianto "tipo" data l'eterogeneità delle tecnologie che compongono le linee di applicazione smalti/decori. Tuttavia, le linee di smaltatura e decorazione sono sempre composte da impianti per il trattamento delle acque reflue e da sistemi per la depurazione delle emissioni gassose. Inoltre possono essere presenti dei sistemi di aspirazione e soffiaggio per la pulizia superficiale o per il raffreddamento delle piastrelle a monte delle macchine digitali di stampa.

Gli impianti di cottura analizzati sono invece riassunti in Figura 12.

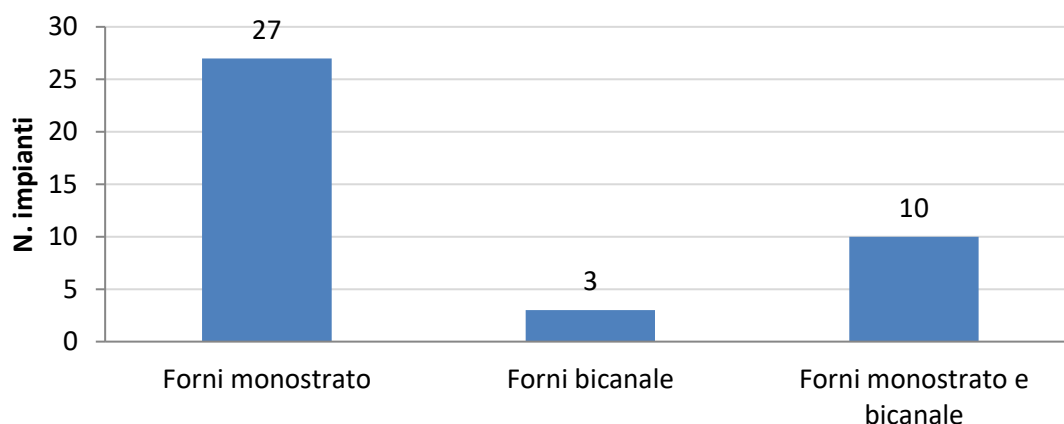


Figura 12. Impianti di cottura analizzati

Anche negli impianti di cottura sono previsti dei sistemi per la depurazione delle emissioni gassose costituiti generalmente da filtri a maniche con un pre-rivestimento.

5.2.3 Ripartizione dei consumi del campione

Al fine di individuare una rappresentatività anche energetica del campione di analisi, sono stati ricostruiti i consumi sia termici che elettrici a partire dai dati contenuti nelle Diagnosi Energetiche e nelle Autorizzazioni Integrate Ambientali relative al 2018. Nel presente documento tutti i vettori energetici considerati sono stati riportati seguendo le unità di misura riportate in Tabella 3. Ad ogni vettore sono associati il PCI (Potere Calorifico Inferiore) ed il fattore di conversione in tonnellate di petrolio equivalente (tep) desunto dalla circolare MISE del 18 dicembre 2014.

Vettore energetico	u.m.	Potere Calorifico Inferiore (PCI)	Fattore di conversione (tep)
Energia Elettrica	KWh	-	$0,187 \times 10^{-3}$
Gas Naturale	Sm ³	8.360 kcal/Sm ³	$PCI \times 10^{-7}$

Tabella 3. Poteri calorifici e fattori di conversione per i principali vettori energetici

Si osservi che il PCI del gas naturale è quello indicato recentemente da ENEA pari a 8.360 kcal/Sm³ corrispondente a circa 35,0 MJ/Sm³. Si riportano di seguito le relazioni quantitative tra le varie unità di misura più comunemente adottate:

t/kg	1 t = 1.000 kg
kcal/kJ	1 kcal = 4,187 KJ
kWh/kcal	1 kWh = 860 Kcal
kWh/kJ	1 kWh = 3.600 KJ

Come rilevabile dalla Tabella 4, la maggior parte del consumo energetico settoriale è riconducibile all'utilizzo di gas naturale che copre circa i 3/4 del consumo complessivo.

LIVELLO B		
	Energia elettrica	Gas Naturale
u.m.	1.681.887.662 kWh	897.794.135 Sm ³
tep	314.513 tep	750.556 tep
% sul totale	30%	70%

Tabella 4. Percentuali di utilizzo dei vettori energetici riportati ai relativi tep (livello B)

Si consideri inoltre che circa il 40% dell'energia elettrica impiegata viene autoprodotta internamente. In particolare, rispetto al campione analizzato, risultano installati 28 impianti di cogenerazione per la produzione combinata di energia elettrica e termica e almeno 15 impianti fotovoltaici per la produzione di sola energia elettrica. In Figura 13 sono riportate le incidenze percentuali del consumo energetico complessivo, espresso in tep, in funzione della macro-area funzionale (attività principali, servizi ausiliari e servizi generali).

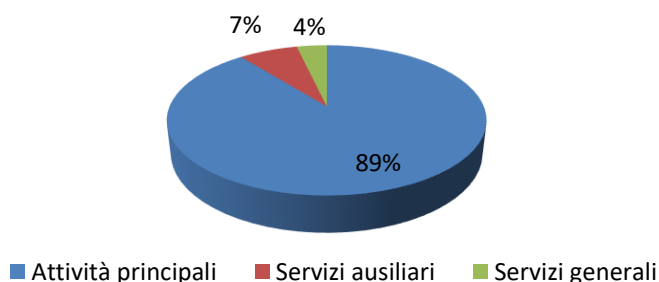


Figura 13. Ripartizione percentuale dei consumi in tep in funzione della macro-area

Come era prevedibile, la maggior parte del consumo è ascrivibile direttamente al processo produttivo mentre i servizi ausiliari così come i servizi generali hanno un peso minore. Per aumentare il dettaglio dell'analisi si riportano in Tabella 5 i consumi energetici suddivisi in base alla fonte energetica utilizzata.

LIVELLO C			
	Attività principali	Servizi ausiliari	Servizi generali
Consumo totale [tep]	950.541	75.793	38.735
% sul consumo totale	89%	7%	4%
Consumo elettrico [kWh]	1.165.937.394	403.512.494	112.437.774
% sul consumo totale	69%	24%	7%
Consumo gas naturale [Sm ³]	876.209.107	401.678	21.183.350
% sul consumo totale	98%	<1%	2%

Tabella 5. Consumi energetici per tipologia di fonte e macro-area (livello C)

I dati della precedente tabella sono evidenziati nei due grafici che seguono (Figura 14) dai quali si evince che il 98% dell'energia termica è imputabile alle attività principali, responsabili anche del 69% della spesa elettrica. La restante quota elettrica è coperta dai servizi ausiliari (24%) e dai servizi generali (7%).



Figura 14. Ripartizione percentuale dei consumi di energia elettrica (a sinistra) e di gas naturale (a destra) in funzione della macro-area

Dopo aver analizzato i dati di consumo da un punto di vista generale si è provveduto ad un'analisi puntuale sulla base delle differenti tipologie di energia assorbita. In Figura 15 è rappresentato graficamente il consumo di energia elettrica delle varie utenze espresso in percentuale rispetto al consumo complessivo.

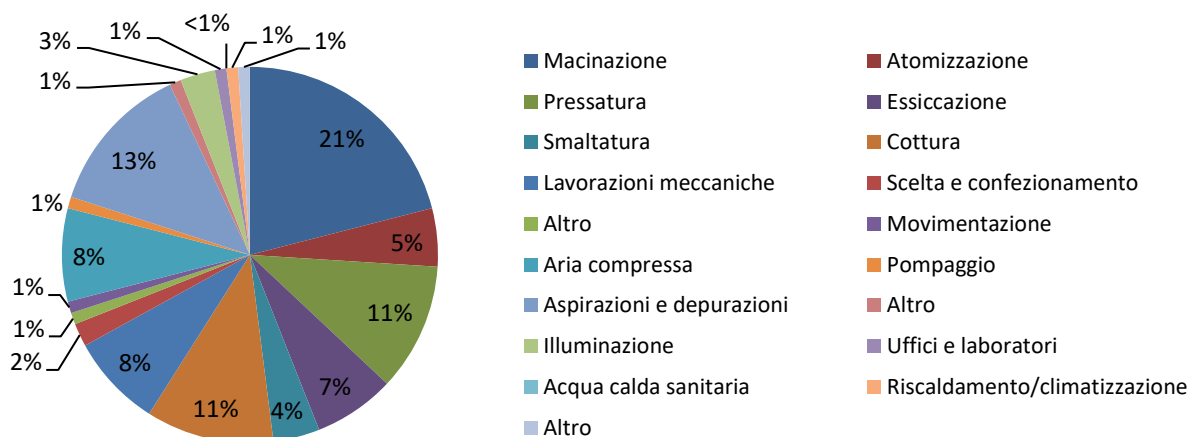


Figura 15. Ripartizione percentuale dei consumi di energia elettrica delle varie utenze

Per completezza gli stessi dati sono riportati numericamente in Tabella 6 dove per ogni utenza viene riportata l'indicazione del consumo percentuale rispetto al totale assorbito ed anche, per raffronto, il consumo percentuale rispetto alla macro-area.

LIVELLO D			
Descrizione	Macro-area	% sul consumo elettrico totale	% rispetto alla macro-area
Macinazione	Attività principali	21%	30%
Atomizzazione	Attività principali	5%	7%
Pressatura	Attività principali	11%	16%
Essiccazione	Attività principali	7%	10%
Smaltatura e/o decorazione	Attività principali	4%	6%
Cottura	Attività principali	11%	15%
Lavorazioni meccaniche	Attività principali	8%	12%
Scelta e confezionamento	Attività principali	2%	3%
Altro	Attività principali	1%	1%
Tot.			100%
Movimentazione	Servizi ausiliari	1%	6%
Aria compressa	Servizi ausiliari	8%	30%
Pompaggio	Servizi ausiliari	1%	5%
Aspirazioni e depurazioni	Servizi ausiliari	13%	54%
Altro	Servizi ausiliari	1%	5%
Tot.			100%
Illuminazione	Servizi generali	3%	48%
Uffici e laboratori	Servizi generali	1%	15%
Acqua calda	Servizi generali	<1%	<1%
Riscaldamento/climatizzazione	Servizi generali	1%	16%
Altro	Servizi generali	1%	21%
Tot.			100%

Tabella 6. Consumi di energia elettrica per tipologia di utenza (livello D)

Dai dati emerge che gran parte dell'energia elettrica di stabilimento è imputabile ai reparti di macinazione, pressatura, cottura e ai sistemi di aspirazione e depurazione. Analogamente a quanto fatto per l'energia elettrica l'analisi di dettaglio dei consumi del gas naturale è rappresentata graficamente in Figura 16 e riportata numericamente in Tabella 7.

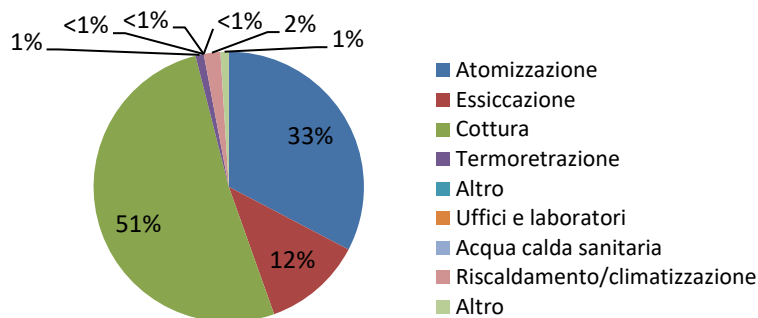


Figura 16. Ripartizione percentuale del consumo di gas naturale delle varie utenze

LIVELLO D			
Descrizione	Macro-area	% sul consumo di gas naturale totale	% rispetto alla macro-area
Atomizzazione	Attività principali	33%	34%
Essiccazione	Attività principali	12%	12%
Cottura	Attività principali	51%	53%
Scelta e confezionamento	Attività principali	1%	1%
Altro	Attività principali	<1%	<1%
Tot.			100%

Uffici e laboratori	Servizi generali	<1%	1%
Acqua calda	Servizi generali	<1%	<1%
Riscaldamento/climatizzazione	Servizi generali	2%	68%
Altro	Servizi generali	1%	31%
Tot.			100%

Tabella 7. Consumi di gas naturale per tipologia di utenza (livello D)

Si osservi che i consumi della fase di atomizzazione tengono conto anche della quotaparte di gas utilizzato nel cogeneratore a servizio degli atomizzatori. Dai dati emerge che gran parte dell'energia termica di stabilimento è imputabile ai forni di cottura, agli atomizzatori e agli essiccatoi.

5.3 Elaborazione degli indici di prestazione energetici

Gli indici di prestazione energetici (di seguito IPE) sono dei valori che esprimono il consumo specifico di un intero sito produttivo, di un singolo reparto, fase o macchina. Tali valori permettono alle aziende di pianificare in modo appropriato la propria politica energetica definendo il livello di prestazione energetica attuale, analizzandone l'andamento nel tempo e confrontandolo con quello di altri stabilimenti o con la media di mercato o con le migliori tecnologie disponibili. Le fasi e i processi presi in esame in questa valutazione sono stati scelti in base alla loro rilevanza energetica all'interno del ciclo produttivo e ai dati derivanti dall'esame delle Diagnosi Energetiche e delle Autorizzazioni Integrate Ambientali. Gli IPE vengono calcolati come segue:

$$IPE = \frac{\text{Consumi vettore energetico}}{\text{Produzione}} \left[\frac{\text{u. m.}}{\text{t}} \right]$$

Nel seguente documento sono stati individuati, per ogni vettore energetico preso in esame, tre tipi di IPE:

- Indici di prestazione energetica di riferimento
- Indici di prestazione energetica generali
- Indici di prestazione energetica specifici

5.3.1 Indici di prestazione energetici di riferimento

Gli indici di riferimento sono dei valori che permettono di inquadrare e confrontare la soluzione tecnologica adottata con la media di mercato oppure con la migliore tecnologia disponibile. Sono determinati in funzione della prestazione energetica media del settore, di un benchmark o di un riferimento di legge. Possono essere reperiti dalla letteratura, da studi di mercato, da un riferimento normativo o da studi delle associazioni di categoria o di istituti di ricerca. In Tabella 8 sono riportate le principali fonti bibliografiche analizzate per l'individuazione degli indici di riferimento.

N.	Fonte bibliografica	Anno pubblicazione
1	BAT – D.M. 29/01/2007	Gennaio 2007
2	Guida Operativa GSE	Maggio 2019
3	Banca Dati	Settembre 1998

Tabella 8. Fonti bibliografiche di riferimento

Si evidenzia fin d'ora che esistono differenze anche significative tra i valori riportati nelle fonti, segnale che la letteratura in materia non riesce ancora a rappresentare in modo sufficientemente dettagliato una realtà complessa e che dipende da una molteplicità di fattori. In Tabella 9 e Tabella 10 sono riportati rispettivamente i consumi specifici definiti nelle Linee Guida relative alle *Best Available Techniques* (BAT) emanate con il D.M. 29/01/2007.

Fase	Processo	Consumo specifico termico [GJ/t]	Consumo specifico elettrico [GJ/t]
Preparazione materie prime	Macinazione a secco	–	0,04 – 0,07
	Macinazione a umido	–	0,05 – 0,35
	Essiccamento a spruzzo	1,1 – 2,2	0,01 – 0,07
Formatura	Pressatura	–	0,05 – 0,15
Essiccazione		0,3 – 0,8	0,01 – 0,04
Cottura		1,9 – 4,8	0,02 – 0,15

Tabella 9. Consumi specifici di energia termica ed elettrica secondo le BAT (13)

Tipo di prodotto/Ciclo	Consumo specifico totale medio (termico+elettrico) [GJ/t]
Monocottura – Ciclo completo	6
Monocottura – Ciclo parziale	4
Grès porcellanato – Ciclo completo	6,5
Grès porcellanato – Ciclo parziale	4
Bicottura – Ciclo completo	5

Tabella 10. Consumo specifico totale medio di stabilimenti ceramici al variare del tipo di prodotto e del ciclo di fabbricazione per l'anno 1997-1998 (13)

Si riportano in Tabella 11 i consumi specifici relativi al processo di produzione del grès porcellanato, definiti nella Guida Operativa pubblicata nel 2019 dal GSE.

Fase	Macchina	Consumo specifico termico [kcal/kg]	Consumo specifico elettrico [kWh/t]
Macinazione	Mulini ad umido	-	-
Essiccazione a spruzzo	Atomizzatori	314	7,6
Pressatura	Pressa	-	15,0
Essiccazione	Essiccatoi verticali	92	10,6
	Essiccatoi orizzontali	106	8,5
Cottura	Forni di cottura	500 (0,00 – 0,40 m ²)	19,8
		520 (0,41 – 0,80 m ²)	
		550 (0,81 – 1,20 m ²)	
		580 (1,21 – 1,70 m ²)	
		610 (1,71 – 2,80 m ²)	
		640 (2,81 – 3,00 m ²)	

Tabella 11. Consumi specifici di energia termica ed elettrica secondo la Guida del GSE (17)

Occorre precisare che i valori di riferimento individuati dal GSE sono riferiti alla singola "macchina/apparecchiatura", mentre la schematizzazione proposta da ENEA nella Diagnosi Energetica prevede l'individuazione del consumo per reparto (o comunque insieme macchina + suoi ausiliari).

Si osservi inoltre che, per la fase di macinazione, la Guida Operativa del 2019 non specifica un valore di riferimento. Per tale motivo si rimanda alla versione del 2017, in cui viene indicato un valore di 37,8 kWh/t per il consumo elettrico dei mulini a umido. Rispetto alla fase di essiccazione, la Guida del 2019 prevede una distinzione tra essiccatoi verticali e orizzontali. Per la fase di cottura, i valori indicati nella Guida del 2019 sono suddivisi in funzione delle superfici delle piastrelle e riferiti a spessori compresi tra 6 e 22 mm. La Guida precisa inoltre che, per spessori inferiori a 6 mm, i consumi della fase di cottura sopra indicati devono essere aumentati del 15%.

Si riportano in Tabella 12 tutti i consumi specifici, distinti per fase, attinenti al processo di produzione del grès porcellanato raccolti nella Banca Dati pubblicata nel 1998.

Fase	Macchina	Consumo specifico termico [kcal/kg]	Consumo specifico elettrico [kWh/t]
Macinazione delle materie prime	Mulini tamburlani discontinui	–	38,0 – 41,5
	Mulini tamburlani continui	–	–
Essiccazione a spruzzo	Atomizzatori	300 – 329	6,9 – 9,0
Pressatura	Presse	–	18,1 – 21,0
Essiccazione	Essiccatoi verticali	92 – 110	10,6 – 15,1
	Essiccatoi orizzontali	106 – 121	8,5 – 13,3
Smaltatura	Mulini tamburlani discontinui	–	44,7 – 49,9
Cottura	Forni a rulli	658 – 722	20,1 – 22,7
	Forni a tunnel	891 – 956	17,8 – 17,9

Tabella 12. Consumi specifici di energia termica ed elettrica secondo la Banca Dati pubblicata nel 1998 (10)

Si osservi che per i mulini continui non vengono riportati dei valori di riferimento per il grès porcellanato, ma solo per la monocottura chiara. Inoltre i consumi specifici dei forni a tunnel sono riferiti alla produzione di grès rosso. I valori di riferimento individuati nella Banca Dati, seppur più articolati e completi dal punto di vista della tecnologia impiantistica e della tipologia produttiva, fanno riferimento ad un funzionamento a regime degli impianti senza quindi considerare l'importante contributo energetico legato ai periodi transitori o di spegnimento e riaccensione degli stessi. Si osservi inoltre che, relativamente alla fase di essiccazione, il documento analizzato prevede una distinzione tra essiccatoi verticali e orizzontali.

Gli indici di prestazione generali (di seguito IPEg) danno un'indicazione generale dei consumi energetici dell'azienda riferiti alle tonnellate di prodotto finale versato a magazzino. Il trend nel tempo di questi indici fornisce un'indicazione sull'andamento globale dei processi. Nel seguente paragrafo verranno illustrati gli indici generali per il vettore elettrico e di gas naturale, calcolati in riferimento ai livelli B e C della struttura energetica aziendale riportata in Figura 6. Occorre precisare che, per il livello C, le considerazioni effettuate riguardano le sole attività principali in quanto, come già evidenziato nel capitolo precedente, i consumi maggiori sono riconducibili al processo produttivo.

5.3.2.1 Livello B

L'indice IPEg, in riferimento al livello B della struttura energetica aziendale (Figura 6), rappresenta il consumo specifico del vettore Vj in riferimento all'unità di massa di prodotto versato a magazzino e dell'eventuale atomizzato venduto a terzi. In particolare risulta che:

$$IPE_{g,EE} = \frac{EE_{rete} + EE_{autoprod} \text{ [kWh]}}{P_{piastrelle} + P_{atm} \text{ [t]}}$$

$$IPE_{g,GN} = \frac{GN_{rete} - GN_{cogen} + GN_{atm} \text{ [Sm}^3\text{]}}{P_{piastrelle} + P_{atm} \text{ [t]}}$$

$$IPE_{g,TOT} = (IPE_{g,EE} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}) + (IPE_{g,GN} \cdot 35 \cdot 10^{-3}) \left[\frac{\text{GJ}}{\text{t}} \right]$$

Dove:

- IPE_{g,EE} è il consumo specifico di energia elettrica riferito alla produzione finale [kWh/t];
- IPE_{g,GN} è il consumo specifico di gas naturale riferito alla produzione finale [Sm³/t];
- IPE_{g,TOT} è il consumo specifico totale di energia riferito alla produzione finale [GJ/t];
- EE_{rete} è l'energia elettrica prelevata da rete [kWh];
- EE_{autoprod} è l'energia elettrica autoprodotta e auto consumata internamente [kWh];
- GN_{rete} è il gas naturale prelevato da rete [Sm³];
- GN_{cogen} è il gas naturale utilizzato nell'impianto di cogenerazione [Sm³];
- GN_{atm} è la quota parte di gas naturale utilizzato nell'impianto di cogenerazione destinato all'atomizzatore [Sm³];
- P_{piastrelle} è la produzione di piastrelle versate a magazzino [t];
- P_{atm} è la produzione di atomizzato venduto a terzi [t].

Per la determinazione del consumo specifico di energia elettrica (IPE_{g,EE}) è stato preso in considerazione un campione costituito da 85 stabilimenti produttivi senza distinguere per tipologia di prodotto o per ciclo di fabbricazione. Allo stesso modo, per la determinazione del consumo specifico di gas naturale (IPE_{g,GN}), è stato preso a riferimento un campione di 83 stabilimenti. Si osservi che sono stati esclusi tutti gli stabilimenti non riportanti informazioni essenziali ai fini del calcolo dei consumi specifici. Nella Tabella 13 sono riassunti i consumi specifici calcolati a partire dai dati del 2018. Tali valori sono stati confrontati con quelli ottenuti nella precedente analisi delle Diagnosi Energetiche condotta nel 2015. In particolare, non si evidenziano notevoli differenze tra i valori medi del 2018 e quelli del 2015.

LIVELLO B				
	Diagnosi Energetiche (2015)		Diagnosi Energetiche (2018)	
	IPE_{gEE} [kWh/t]	IPE_{gGN} [Sm^3/t]	IPE_{gEE} [kWh/t]	IPE_{gGN} [Sm^3/t]
Media	213	111	209	108
Min	46	30	19	4
Max	535	276	755	291

Tabella 13. Confronto consumi specifici (livello B) relativi al 2015 e 2018

Le rette di regressione, ricavate dall'elaborazione dei dati dei consumi elettrici e di gas naturale in funzione della produzione, sono mostrate in Figura 17.

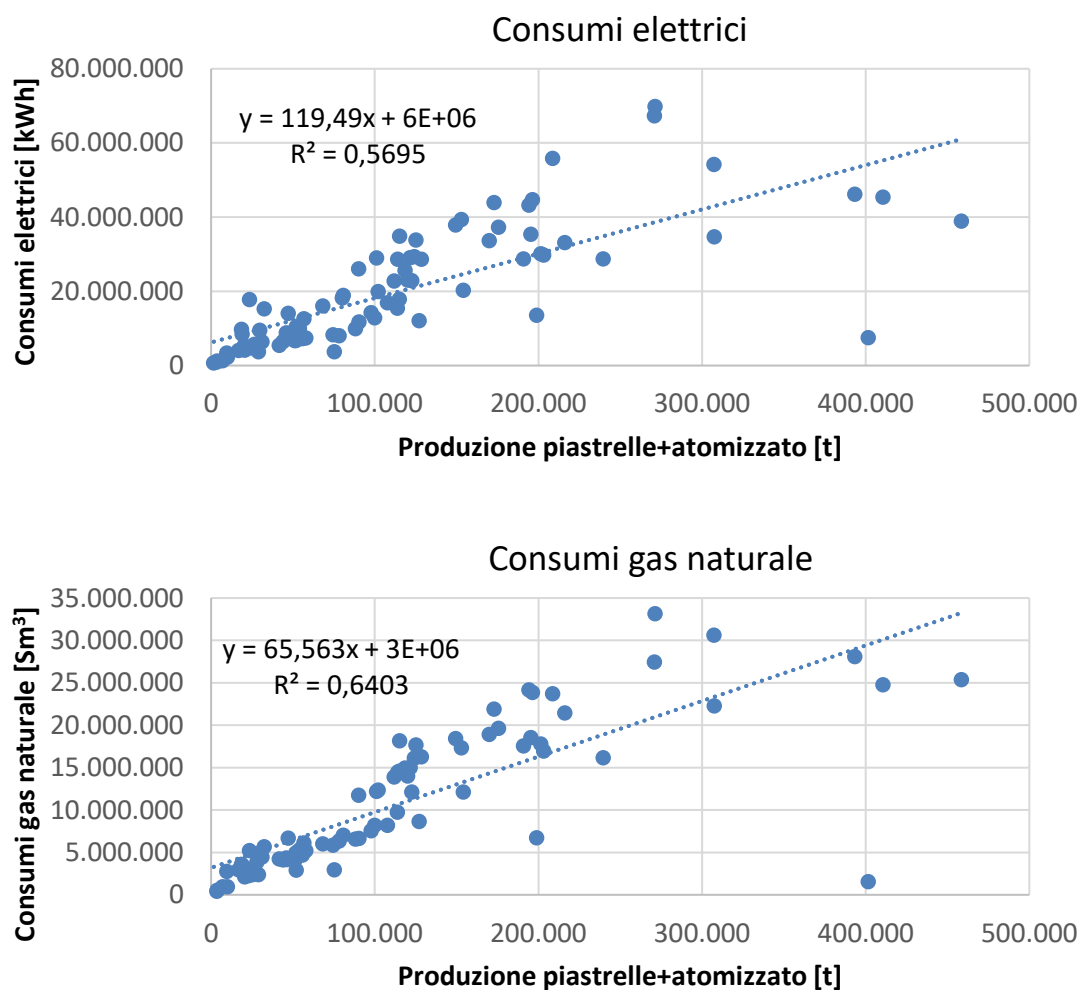


Figura 17. Consumi elettrici e di gas naturale (livello B) in funzione della produzione

In entrambi i grafici, il coefficiente di correlazione R^2 , un parametro che fornisce indicazioni riguardanti la bontà di adattamento di un modello statistico ai dati, indica una correlazione tendenzialmente positiva tra le variabili considerate. Restringendo il campione di analisi in base alla tipologia di prodotto e di ciclo di fabbricazione è stato possibile fare ulteriori considerazioni. Per quanto riguarda il processo "a ciclo completo" sono stati analizzati sia gli stabilimenti che preparano atomizzato da vendere a terzi sia quelli che lo producono ad esclusivo uso interno. Invece, per il processo "a ciclo parziale", sono stati presi a riferimento tutti gli stabilimenti privi delle fasi di preparazione delle materie prime. Tutti gli stabilimenti analizzati

producono principalmente grès porcellanato. Sono stati inoltre considerati alcuni stabilimenti che oltre al grès, producono anche altre tipologie di prodotti (monoporosa, monocottura, piastrelle in bicottura a partire dal supporto cotto, etc.). In Tabella 14 si riportano i consumi specifici dei vettori analizzati in funzione della tipologia di processo.

LIVELLO B				
	Ciclo completo		Ciclo parziale	
	IP _{E_{EE}} [kWh/t]	IP _{E_{GN}} [Sm ³ /t]	IP _{E_{EE}} [kWh/t]	IP _{E_{GN}} [Sm ³ /t]
Media ± dev. st	235 ± 110	117 ± 34	193 ± 94	104 ± 42
Min	85	55	95	68
Max	755	221	524	291

Tabella 14. Confronto consumi specifici (livello B) in funzione della tipologia di processo produttivo

Le rette di regressione, ricavate dall’elaborazione dei dati dei consumi elettrici in funzione della produzione e della tipologia di processo produttivo, sono mostrate in Figura 18. Si osservi che per quanto riguarda il processo “a ciclo completo”, il campione preso a riferimento è composto da 45 stabilimenti produttivi, mentre per il processo “a ciclo parziale” il campione è di 36 stabilimenti.

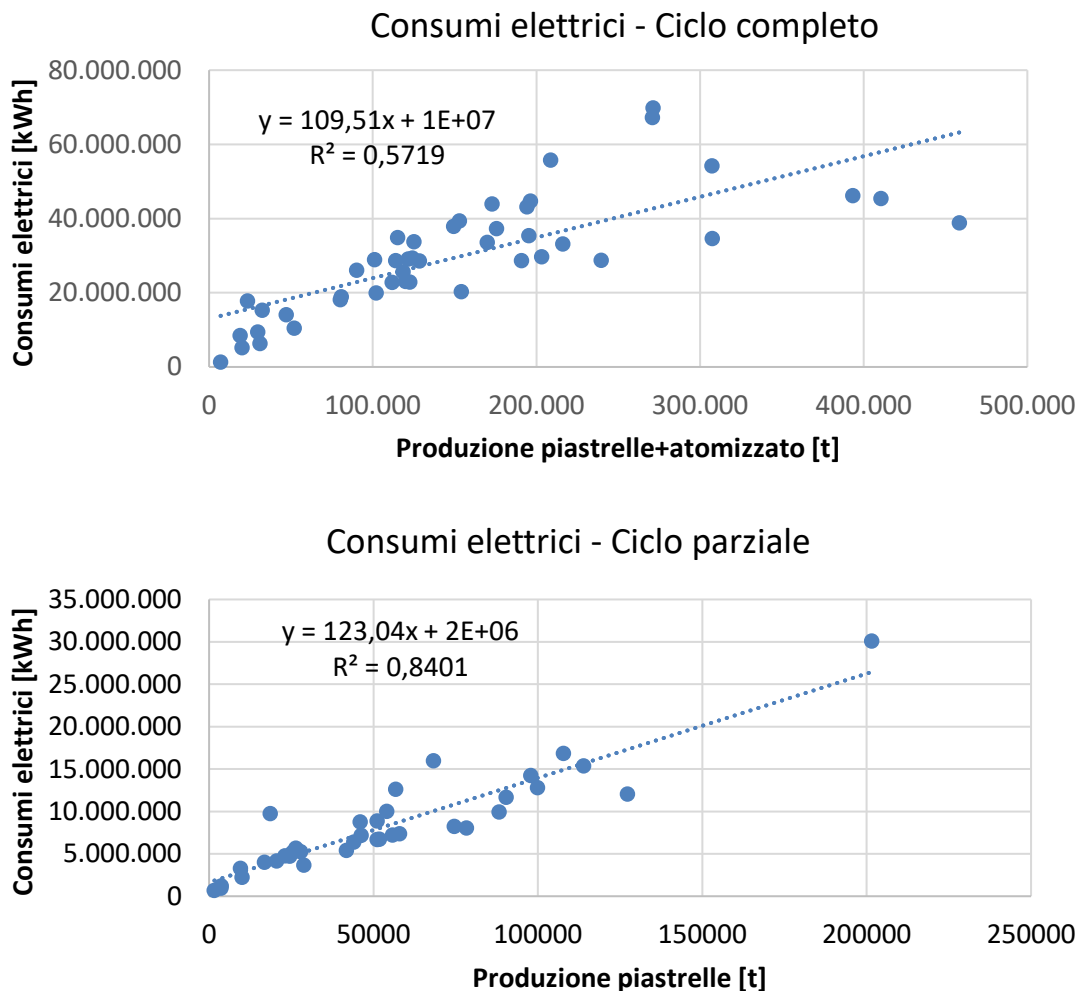


Figura 18. Consumi elettrici (livello B) in funzione della produzione per il processo “a ciclo completo” e “a ciclo parziale”

Per quanto riguarda i consumi elettrici, negli stabilimenti del tipo “a ciclo parziale”, il coefficiente R^2 pari a 0,840 indica una relazione lineare più forte rispetto a quelli “a ciclo completo”. Le rette di regressione, ricavate dall’elaborazione dei dati dei consumi di gas naturale in funzione della produzione e della tipologia di processo produttivo, sono mostrate in Figura 19. Si osservi che per quanto riguarda il processo “a ciclo completo”, il campione preso a riferimento è composto da 44 stabilimenti produttivi, mentre per il processo “a ciclo parziale” il campione è di 35 stabilimenti.

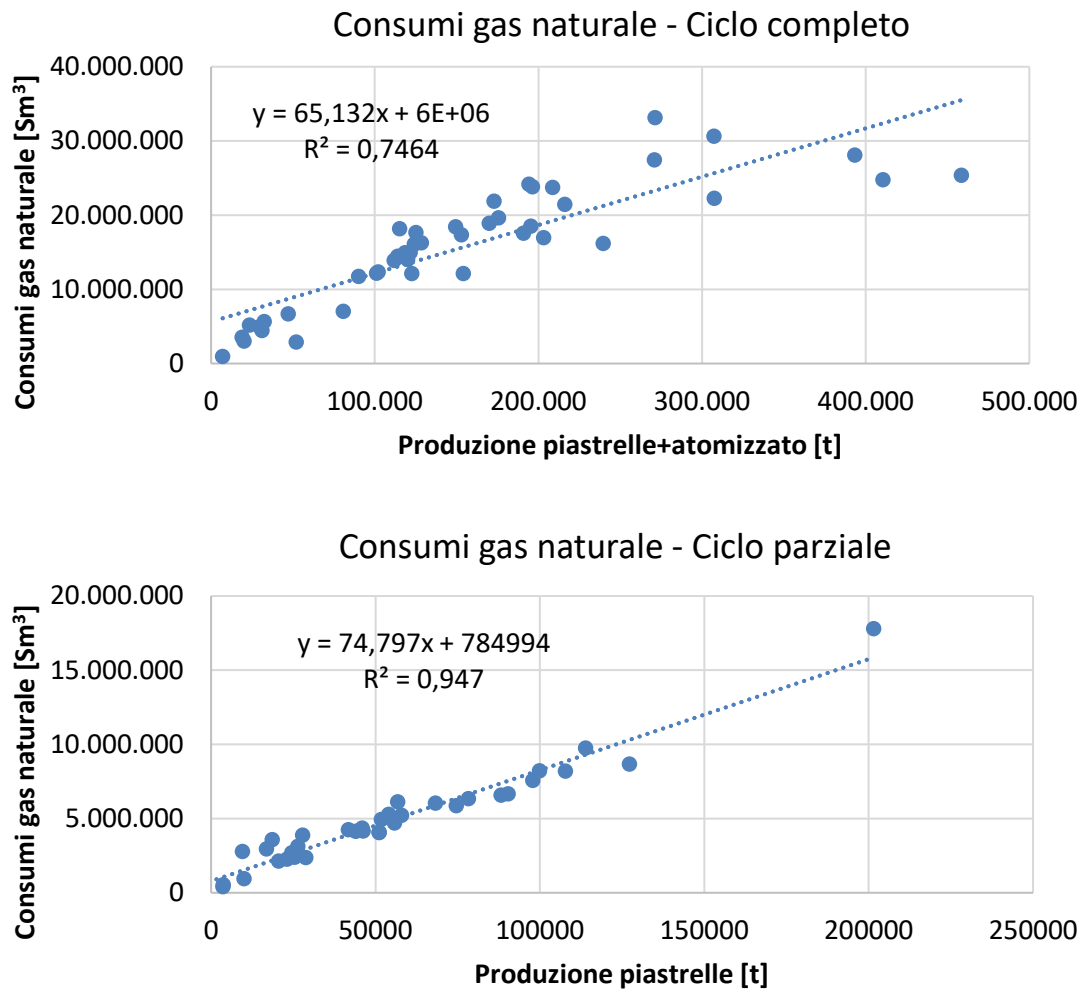


Figura 19. Consumi di gas naturale (livello B) in funzione della produzione per il processo “a ciclo completo” e “a ciclo parziale”

Per quanto riguarda i consumi di gas naturale, il coefficiente R^2 indica una correlazione forte sia negli stabilimenti con processo “a ciclo completo” che in quelli “a ciclo parziale”. In Tabella 14 si riporta, in funzione della tipologia di processo, il consumo specifico totale di energia ($\text{IPE}_{g,\text{TOT}}$).

LIVELLO B				
	Ciclo Completo		Ciclo parziale	
	$\text{IPE}_{g,\text{TOT}}$ [GJ/t]	Valore BAT [GJ/t]	$\text{IPE}_{g,\text{TOT}}$ [GJ/t]	Valore BAT [GJ/t]
Media \pm dev. st	4,9 \pm 1,6	6,5	4,2 \pm 1,8	4,0
Min	2,2		1,6	
Max	10,5		11,4	

Tabella 15. Confronto consumi specifici totali (livello B) in funzione della tipologia di processo produttivo

In particolare l'89% degli stabilimenti con un processo "a ciclo completo" presenta dei consumi specifici totali di energia inferiori rispetto ai limiti richiesti dalle Linee Guida Nazionali per le *Best Available Techniques* emanate con il D.M. 29/01/2007. Per quanto riguarda il processo "a ciclo parziale", il limite definito dalle BAT viene superato dal 42% degli stabilimenti analizzati, in particolare da quelli che oltre al grès porcellanato producono anche altre tipologie di prodotti (monoporosa, monocottura, bicottura, etc).

5.3.2.2 Livello C

L'indice IPE_g, in riferimento al livello C della struttura energetica aziendale (Figura 6), rappresenta il consumo specifico del vettore V_j impiegato nelle attività principali in riferimento all'unità di massa di prodotto versato a magazzino e dell'eventuale atomizzato venduto a terzi.

$$IPE_{g,EE} = \frac{\sum EE_{att,p} [kWh]}{P_{piastrelle} + P_{atm} [t]}$$

$$IPE_{g,GN} = \frac{\sum GN_{att,p} [Sm^3]}{P_{piastrelle} + P_{atm} [t]}$$

Dove:

IPE _{g,EE}	è il consumo specifico di energia elettrica riferito alla produzione finale [kWh/t];
IPE _{g,GN}	è il consumo specifico di gas naturale riferito alla produzione finale [Sm ³ /t];
EE _{att,p}	è l'energia elettrica impiegata nelle attività principali [kWh];
GN _{att,p}	è il gas naturale impiegato nelle attività principali [Sm ³];
P _{piastrelle}	è la produzione di piastrelle versate a magazzino [t];
P _{atm}	è la produzione di atomizzato venduto a terzi [t].

Le attività principali di processo caratterizzate da consumi di tipo elettrico sono:

- Macinazione
- Atomizzazione
- Pressatura
- Essiccazione
- Cottura
- Preparazione smalti e smaltatura
- Lavorazioni meccaniche/finitura
- Scelta e confezionamento

I consumi di gas naturale sono quelli di maggiore entità nel processo di produzione delle piastrelle di ceramica, anche se riguardano un numero di aree funzionali minore rispetto a quelli elettrici. Le attività principali di processo caratterizzate da consumi di gas naturale sono le seguenti:

- Atomizzazione
- Quotaparte recuperata da cogenerazione
- Essiccazione
- Cottura

Per la determinazione del consumo specifico elettrico ($IPE_{g,EE}$) e di gas naturale ($IPE_{g,GN}$) è stato preso in considerazione un campione costituito da 31 stabilimenti “a ciclo completo” con o senza vendita di atomizzato a terzi. Per il processo “a ciclo parziale”, sono stati presi a riferimento 26 stabilimenti privi delle fasi di preparazione delle materie prime. Tutti gli stabilimenti analizzati producono principalmente grès porcellanato o altre tipologie di prodotti (monoporosa, piastrelle in bicottura a partire dal supporto cotto, etc.) in quantità comunque limitate rispetto alle tonnellate versate a magazzino. Nella Tabella 16 vengono riassunti i consumi specifici medi dei vettori analizzati e le relative deviazioni standard in funzione della tipologia di processo produttivo.

LIVELLO C				
	Ciclo completo		Ciclo parziale	
	$IPE_{g,EE}$ [kWh/t]	$IPE_{g,GN}$ [Sm ³ /t]	$IPE_{g,EE}$ [kWh/t]	$IPE_{g,GN}$ [Sm ³ /t]
Media ± dev. st	144 ± 38	110 ± 27	108 ± 42	101 ± 45

Tabella 16. Confronto consumi specifici medi (livello C) in funzione della tipologia di processo produttivo

Le rette di regressione, ricavate dall’elaborazione dei dati dei consumi elettrici in funzione della produzione e della tipologia di processo produttivo, sono mostrate in Figura 20.

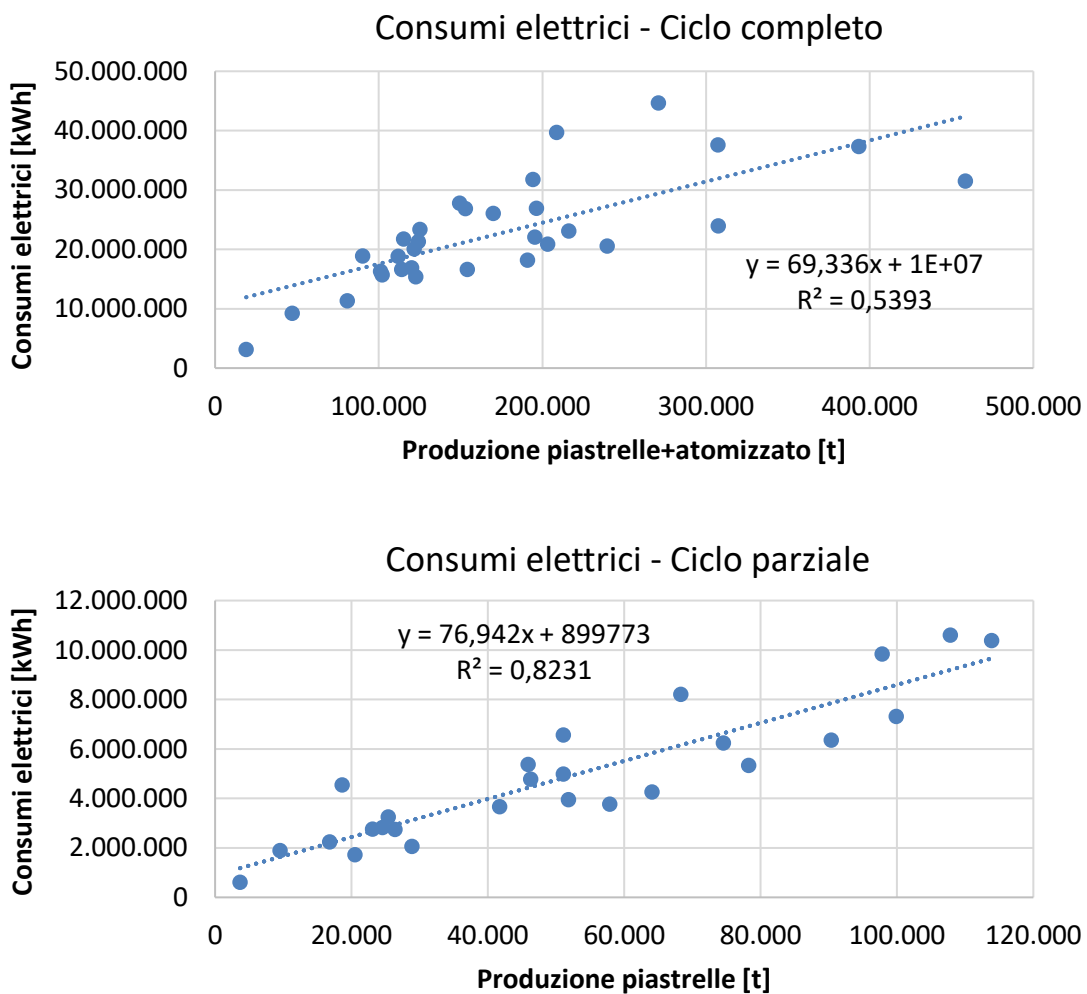


Figura 20. Consumi elettrici in funzione della produzione per il processo “a ciclo completo” e “a ciclo parziale” (livello C)

Per quanto riguarda i consumi elettrici, negli stabilimenti del tipo “a ciclo parziale”, il coefficiente di R^2 pari a 0,823 indica una relazione lineare più forte rispetto a quelli “a ciclo completo”. Le rette di regressione, ricavate dall’elaborazione dei dati dei consumi di gas naturale in funzione della produzione e della tipologia di processo produttivo, sono mostrate in Figura 21.

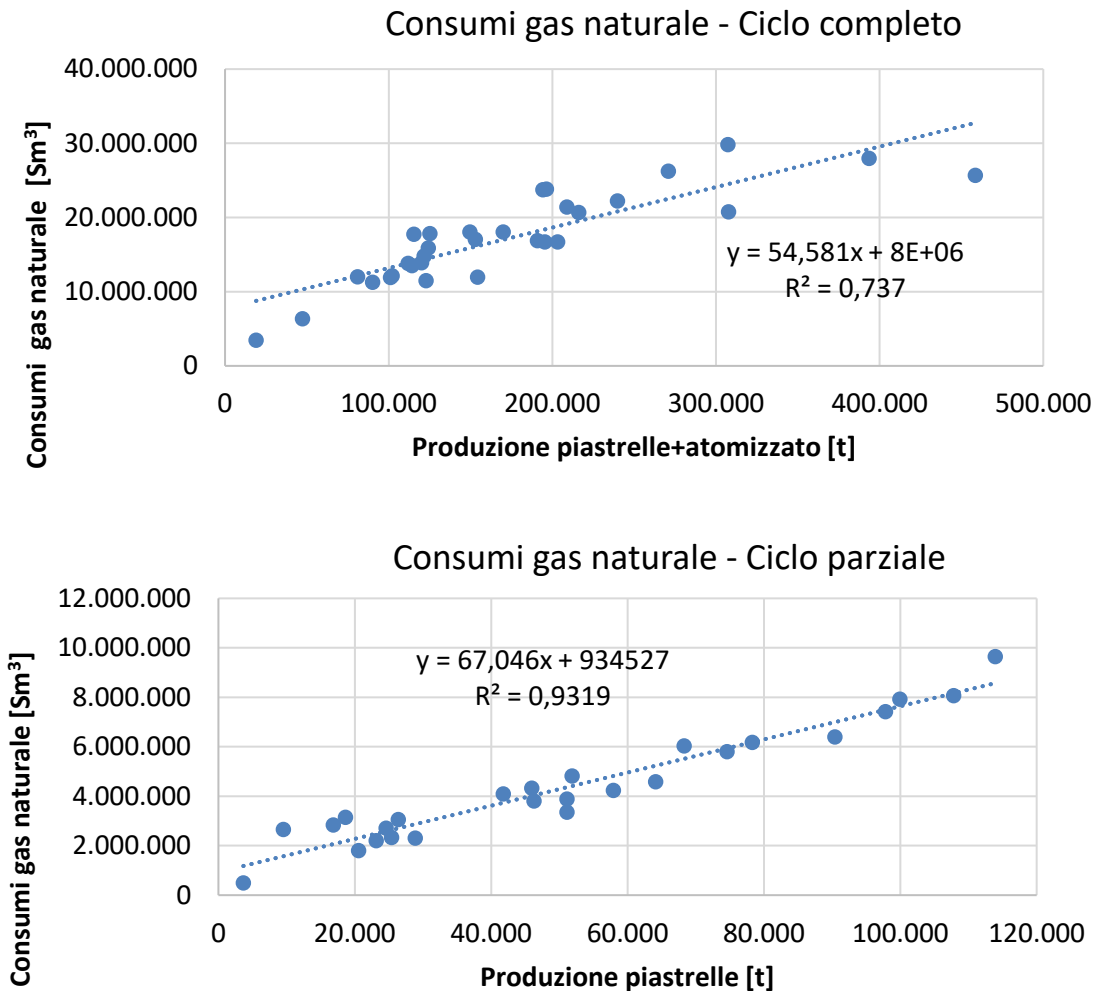


Figura 21. Consumi di gas naturale (livello C) in funzione della produzione per il processo “a ciclo completo” e “a ciclo parziale”

Per quanto riguarda i consumi di gas naturale, il coefficiente R^2 indica una correlazione forte sia negli stabilimenti con processo “a ciclo completo” che in quelli “a ciclo parziale”.

5.3.3 Indici di prestazione energetici specifici (IPEs)

Gli indici di prestazione energetici specifici (di seguito IPEs) danno una indicazione dei consumi energetici dei singoli reparti produttivi o delle singole lavorazioni. Tali indici, monitorati nel tempo, permettono di individuare trend rappresentativi di degrado delle prestazioni dei macchinari e/o di avere le informazioni necessarie in caso di rinnovo della macchina o della linea di produzione. Nel seguente paragrafo verranno illustrati gli indici IPEs, in riferimento al livello D della struttura energetica aziendale, per ogni reparto relativo alle attività principali. In particolare risulta che:

$$IPE_{s,EE} = \frac{EE_{i,att,p} \text{ [kWh]}}{P_{i,att,p} \text{ [t]}}$$

$$IPE_{s,GN} = \frac{GN_{i,att,p} \text{ [Sm}^3\text{]}}{P_{i,att,p} \text{ [t]}}$$

Dove:

$IPE_{s,EE}$	è il consumo specifico di energia elettrica riferito alla produzione specifica [kWh/t];
$IPE_{s,GN}$	è il consumo specifico di gas naturale riferito alla produzione specifica [Sm ³ /t];
$EE_{i,att,p}$	è l'energia elettrica impiegata nell'i-esimo reparto delle attività principali [kWh];
$GN_{i,att,p}$	è il gas naturale impiegato nell'i-esimo reparto delle attività principali [Sm ³];
$P_{i,att,p}$	è la produzione specifica nell'i-esimo reparto delle attività principali [t].

Occorre precisare che la produzione specifica presa a riferimento varia per ogni lavorazione effettuata. In particolare, nel processo produttivo delle piastrelle di ceramica, vengono considerate le seguenti produzioni specifiche:

- Macinazione: tonnellate di barbotina o di polvere secca
- Regolazione del contenuto d'acqua: tonnellate di atomizzato o di granulato
- Formatura/Pressatura: tonnellate di piastrelle pressate
- Essiccazione: tonnellate di piastrelle essiccate
- Smaltatura: tonnellate in uscita dal reparto di smalteria/decorazione
- Cottura: tonnellate di piastrelle cotte
- Lavorazioni meccaniche: tonnellate in uscita dal reparto lavorazioni
- Scelta e confezionamento: tonnellate di piastrelle versate a magazzino

In generale la massa, espressa in tonnellate, presa a riferimento è quella in uscita dal reparto stesso. A parità di condizioni di umidità, la massa in uscita sarà uguale o superiore a quella del reparto successivo a causa degli scarti di produzione e/o delle perdite di materiale lungo la linea.

5.3.3.1 Livello D – Macinazione

Il consumo da imputare al reparto di macinazione è solo di tipo elettrico. L’analisi dei consumi elettrici è stata condotta su un campione di 17 stabilimenti che producono principalmente grès porcellanato ed effettuano una macinazione a umido continua e/o discontinua. La retta di regressione, ricavata dall’elaborazione dei dati dei consumi elettrici in funzione delle tonnellate di barbottina prodotta (t_{BARB}) è mostrata in Figura 22.

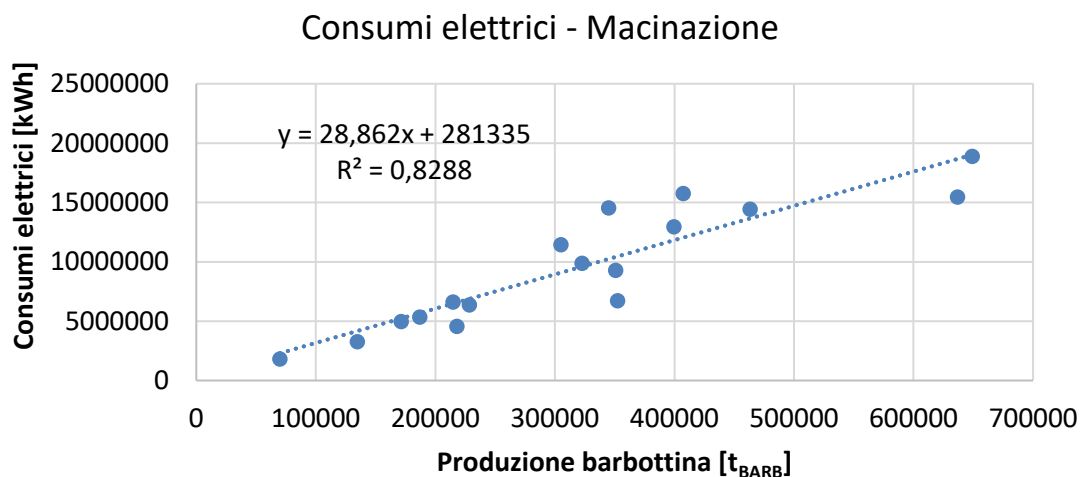


Figura 22. Consumi elettrici di reparto in funzione delle tonnellate di barbottina

Il coefficiente R^2 indica una correlazione forte tra i consumi elettrici e la produzione specifica individuati in Figura 22. Va evidenziato che il consumo elettrico di sito è influenzato dalla tipologia e dalla durezza delle materie prime o dalla velocità di rotazione dei mulini, in funzione dei quali la fase di macinazione risulta più o meno energivora. La Tabella 17 mostra il consumo specifico medio per il vettore elettrico calcolato a partire dai dati del 2018 e lo confronta con i valori di riferimento individuati nelle diverse fonti descritte in Tabella 8.

LIVELLO D				
Reparto	u.m.	Valore 2018 \pm dev.st	Valori di riferimento	N. fonte
MACINAZIONE	[kWh/ t_{BARB}]	29,3 \pm 6,1	13,9 – 97,2 ¹	1
			37,8	2
			38,0 – 41,5	3

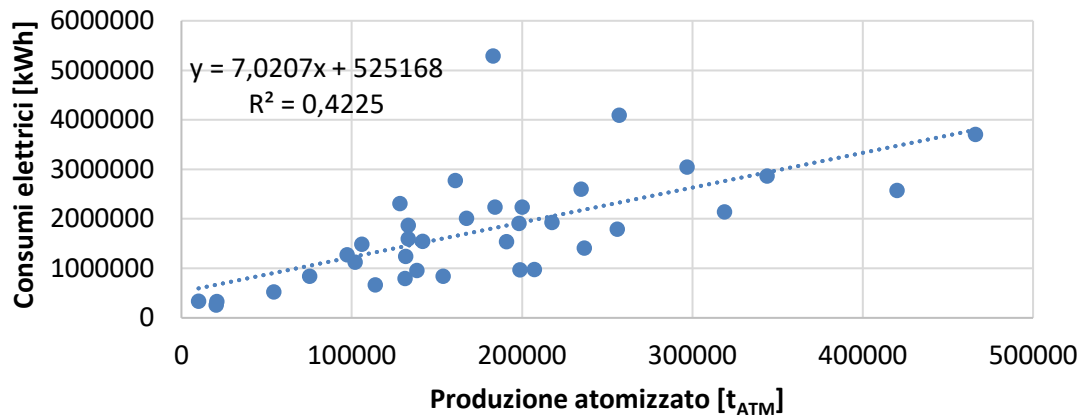
* valori convertiti nell’u.m. corrispondente

Tabella 17. Consumo specifico medio (livello D) per il reparto di macinazione

5.3.3.2 Livello D – Regolazione del contenuto d’acqua

Il consumo da imputare al reparto in cui viene effettuata la regolazione del contenuto d’acqua è sia di tipo elettrico che termico. L’analisi dei consumi elettrici e di gas naturale è stata condotta rispettivamente su un campione di 36 e 37 stabilimenti che producono principalmente grès porcellanato e in cui la regolazione del contenuto d’acqua avviene attraverso un’operazione di atomizzazione. Le rette di regressione, ricavate dall’elaborazione dei dati dei consumi elettrici e di gas naturale in funzione delle tonnellate di atomizzato prodotto (t_{ATM}) sono rispettivamente mostrati in Figura 23.

Consumi elettrici - Atomizzazione



Consumi gas naturale - Atomizzazione

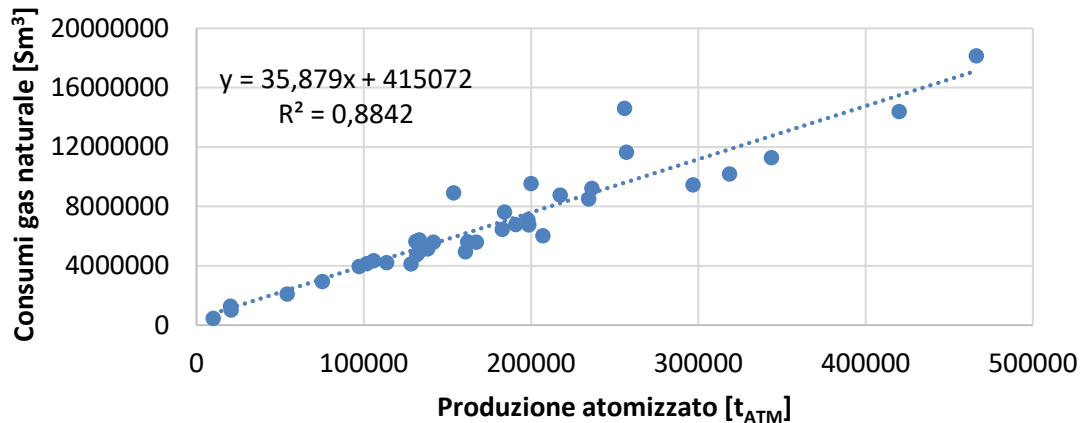


Figura 23. Consumi elettrici e di gas naturale di reparto in funzione delle tonnellate di atomizzato

Il coefficiente R^2 indica in particolare una correlazione più forte tra i consumi di gas naturale e la produzione specifica rispetto a quella tra i consumi elettrici. Va evidenziato che i consumi di sito sono influenzati dall'umidità e dalla temperatura della barbotina o dalla temperatura dell'aria comburente, in funzione dei quali la fase di atomizzazione risulta più o meno energivora. La Tabella 18 mostra i consumi specifici medi calcolati a partire dai dati del 2018 e li confronta con i gli indici di riferimento individuati nelle fonti descritte in Tabella 8.

LIVELLO D				
Reparto	u.m.	Valore 2018 \pm dev.st	Valori di riferimento	N. fonte
ATOMIZZAZIONE	[kWh/ t_{ATM}]	$11,3 \pm 6,1$	2,8 – 19,4'	1
			7,6	2
			6,9 – 9,0	3
	[Sm^3/t_{ATM}]	$39,6 \pm 7,5$	31,4 – 62,9'	1
			37,6'	2
			35,9 – 39,4'	3

* valori convertiti nell'u.m. corrispondente

Tabella 18. Consumi specifici medi (livello D) per il reparto atomizzazione

5.3.3.3 Livello D – Pressatura

Il consumo da imputare alla fase di pressatura è solo di tipo elettrico. L’analisi dei consumi elettrici è stata condotta su un campione di 26 stabilimenti che producono principalmente grès porcellanato e sono caratterizzati da tecnologie di pressatura differenti. La retta di regressione, ricavata dall’elaborazione dei dati dei consumi elettrici in funzione delle tonnellate di piastrelle pressate (t_{PRESS}) è mostrata in Figura 24.

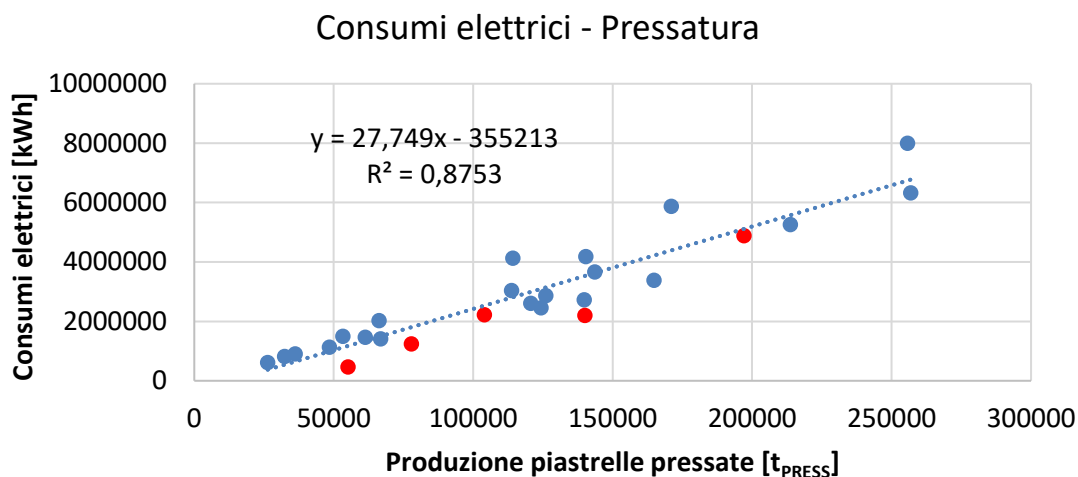


Figura 24. Consumi elettrici di reparto in funzione delle tonnellate di piastrelle pressate

Va evidenziato che il consumo elettrico di sito è influenzato dall’umidità dell’impasto, dalla pressione esercitata, dalla velocità di caricamento, estrazione e cambio stampo o dalla temperatura del fluido impiegato nei sistemi di raffreddamento, in funzione dei quali la fase di pressatura risulta più o meno energivora. I punti al di sotto della retta di regressione ed evidenziati in rosso (Figura 24) rappresentano gli stabilimenti caratterizzati da almeno una linea di produzione con una tecnologia di pressatura in continuo. Il coefficiente R^2 indica una correlazione forte tra i consumi elettrici e la produzione specifica individuati in Figura 24. La Tabella 19 mostra il consumo specifico medio per il vettore elettrico calcolato a partire dai dati del 2018 e lo confronta con i valori di riferimento individuati nelle diverse fonti descritte in Tabella 8.

LIVELLO D				
Reparto	u.m.	Valore 2018 ± dev.st	Valori di riferimento	N. fonte
PRESSATURA	[kWh/ t_{PRESS}]	24,0 ± 5,9	13,9 – 41,7 ¹	1
			15,0	2
			18,1 – 21,0	3

* valori convertiti nell’u.m. corrispondente

Tabella 19. Consumo specifico medio (livello D) per il reparto pressatura

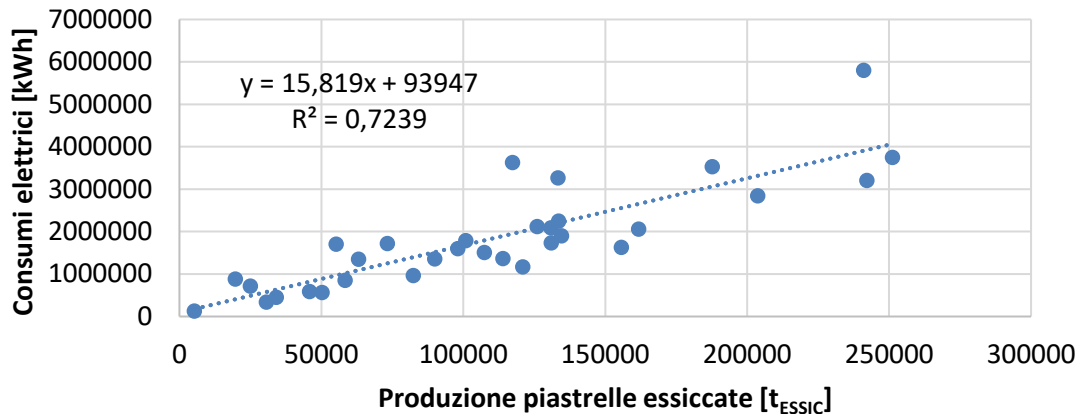
Considerando gli stabilimenti in cui la fase di pressatura utilizza solamente una tecnologia di pressatura tradizionale, il consumo specifico medio per il vettore elettrico tende ad aumentare leggermente passando da 24,0 a 25,8 kWh/ t_{PRESS} . In questo caso il campione analizzato è rappresentato da 21 stabilimenti produttivi.

5.3.3.4 Livello D – Essiccazione

Il consumo da imputare al reparto di essiccazione è sia di tipo elettrico che termico. L’analisi è stata condotta rispettivamente su un campione di 32 e 34 stabilimenti che producono principalmente grès porcellanato e sono caratterizzati da tecnologie di essiccazione diverse.

Le rette di regressione, ricavate dall'elaborazione dei dati dei consumi elettrici e di gas naturale in funzione delle tonnellate di piastrelle essiccate (t_{ESSIC}) sono rispettivamente mostrati in Figura 25.

Consumi elettrici - Essiccazione



Consumi gas naturale - Essiccazione

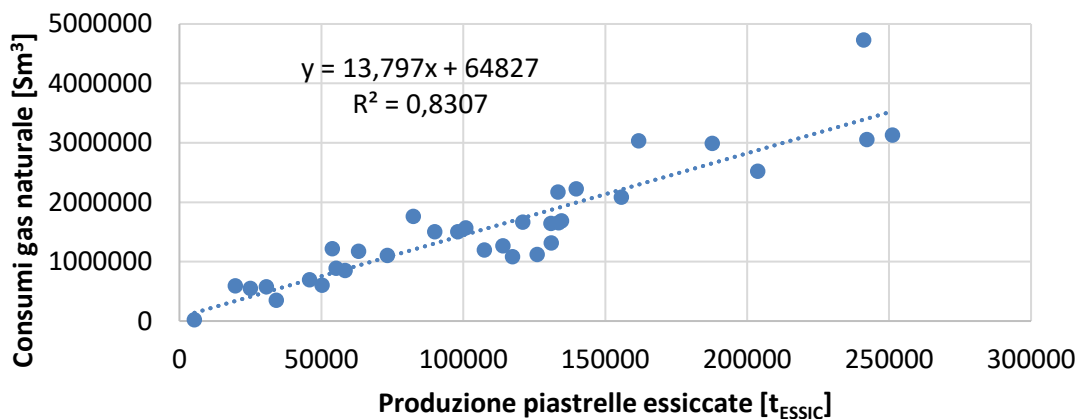


Figura 25. Consumi elettrici e di gas naturale di reparto in funzione delle tonnellate di piastrelle essiccate

Il coefficiente R^2 indica una correlazione forte, sia per i consumi elettrici che per quelli di gas naturale, rispetto alla produzione specifica. Va evidenziato che i consumi di sito sono influenzati dall'umidità delle piastrelle formate o dalla temperatura dell'aria comburente, in funzione dei quali la fase di essiccazione risulta più o meno energivora. La Tabella 20 mostra gli indici specifici medi per il vettore elettrico e termico calcolati a partire dai dati del 2018 e li confronta con i gli indici di riferimento ricavati dalle diverse fonti descritte in Tabella 8.

LIVELLO D				
Reparto	u.m.	Valore 2018 \pm dev.st	Valori di riferimento	N. fonte
ESSICCAZIONE	[kWh/ t_{ESSIC}]	17,9 \pm 7,6	2,8 – 11,1*	1
	[$\text{Sm}^3/t_{\text{ESSIC}}$]	14,9 \pm 4,8	8,6 – 22,9*	1

* valori convertiti nell'u.m. corrispondente

Tabella 20. Consumi specifici medi (livello D) per il reparto essiccazione

Il consumo specifico medio per il vettore elettrico risulta superiore al riferimento considerato. Le Diagnosi individuano diverse possibili cause tra cui la presenza di essiccatoi orizzontali a 5 o 7 piani e la produzione di più tipologie di prodotti, aventi formati e spessori variabili, che possono portare a frequenti pause o

interruzioni. Figura 26 e Figura 27 mostrano invece le rette di regressione distinte per tecnologia di essiccazione (essiccatoi verticali o orizzontali) e ricavate dall’elaborazione dei dati dei consumi elettrici e di gas naturale in funzione delle tonnellate di piastrelle essiccate (t_{ESSIC}).

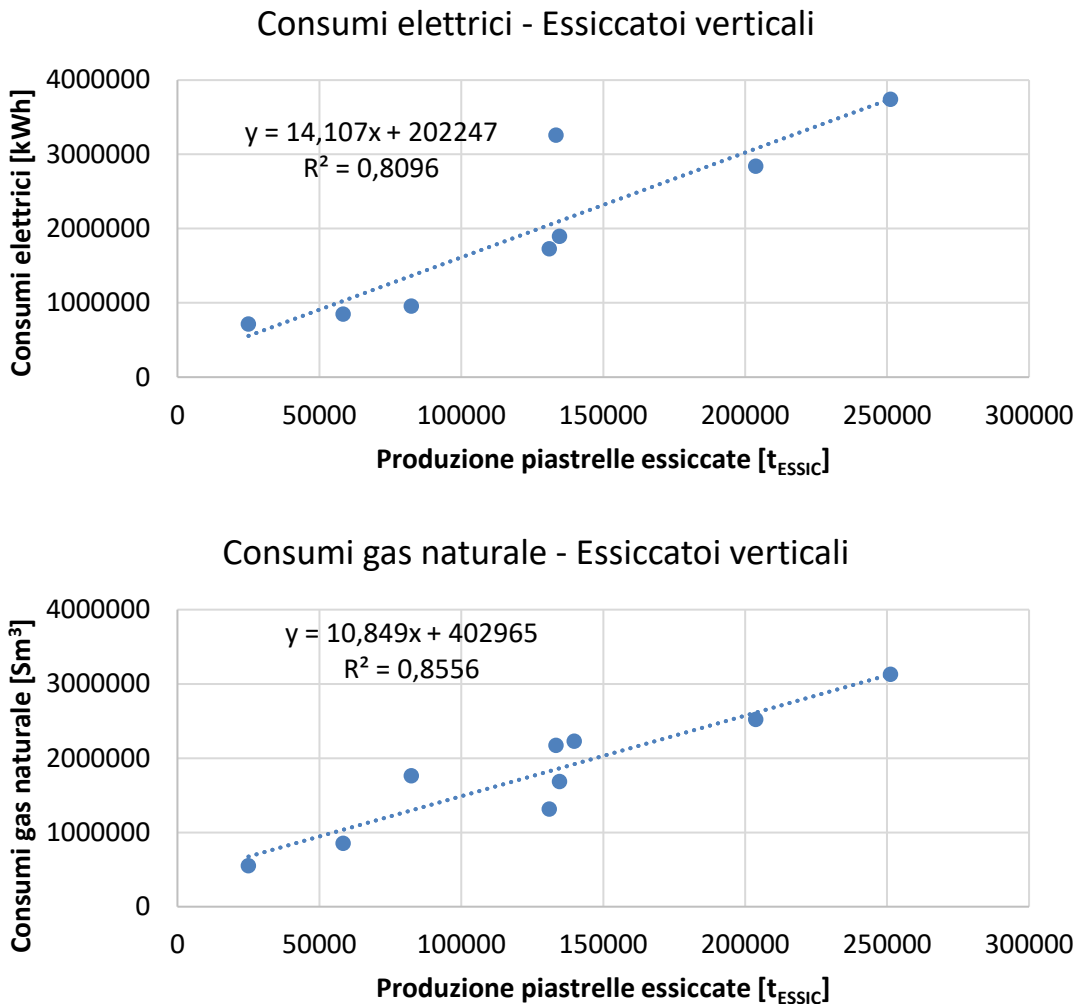
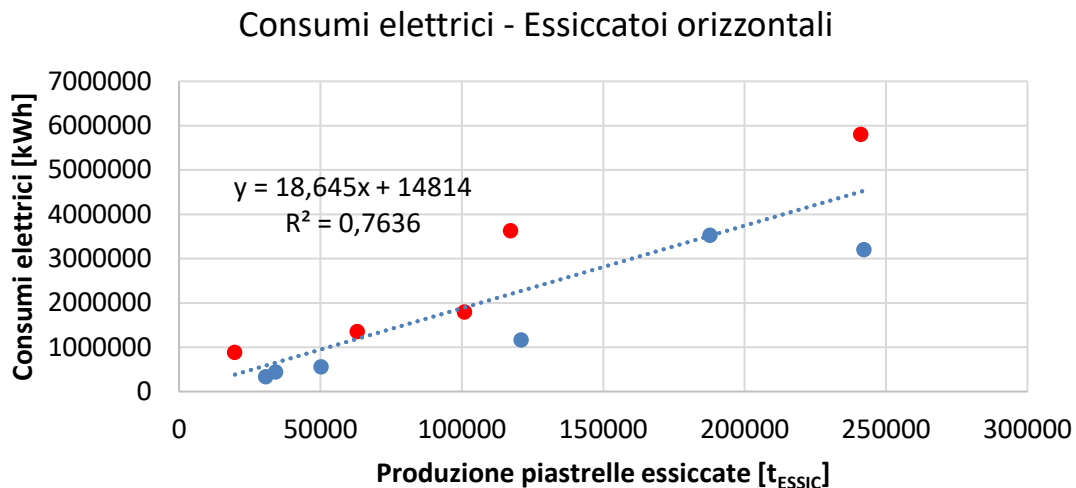


Figura 26. Consumi elettrici e di gas naturale rispetto alle tonnellate di piastrelle essiccate per gli essiccatoi verticali



Consumi gas naturale - Essiccatoi orizzontali

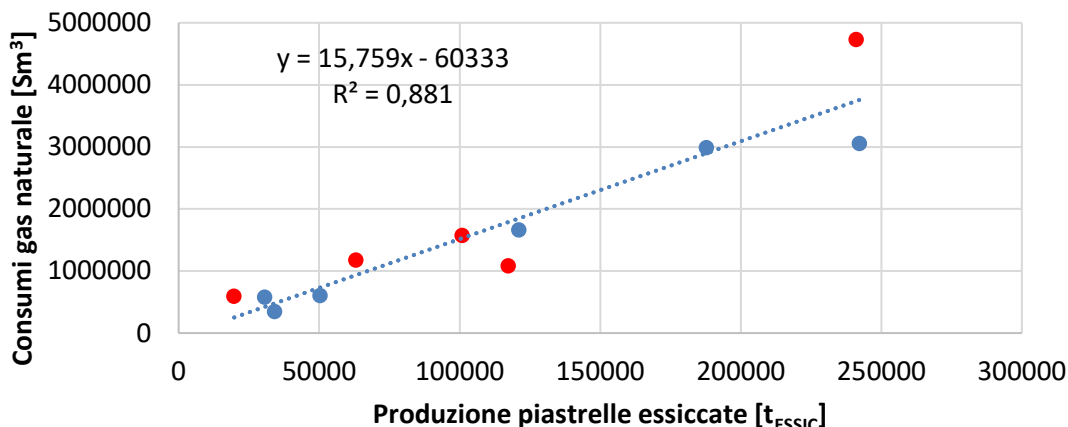


Figura 27. Consumi elettrici e di gas naturale rispetto alle tonnellate di piastrelle essiccate per gli essiccatoi orizzontali

Si osservi che i punti al di sopra delle rette di regressione ed evidenziati in rosso (Figura 27), rappresentano gli stabilimenti in cui sono installati uno o più essiccatoi orizzontali a 5 o a 7 piani. La Tabella 21 mostra i consumi specifici medi suddivisi per tipologia di essiccatoi e li confronta con i valori di riferimento individuati nelle fonti descritte in Tabella 8.

LIVELLO D				
Macchina	u.m.	Valore 2018 ± dev.st	Valori di riferimento	N. fonte
ESSICCATOI VERTICALI	[kWh/t _{ESSIC}]	16,9 ± 6,1	10,6	2
			10,6 – 15,1	3
	[Sm ³ /t _{ESSIC}]	15,3 ± 4,1	11,0'	2
			11,0 – 13,1'	3
ESSICCATOI ORIZZONTALI	[kWh/t _{ESSIC}]	19,6 ± 10,5	8,5	2
			8,5 – 13,3	3
	[Sm ³ /t _{ESSIC}]	16,0 ± 5,8	12,7'	2
			12,7 – 14,5'	3

* valori convertiti nell'u.m. corrispondente

Tabella 21. Consumi specifici medi (livello D) in funzione della tipologia di essiccatoi

Dal punto di vista elettrico, i valori di consumo ricavati dalle varie fonti di riferimento mostrano una maggiore efficienza degli essiccatoi orizzontali rispetto a quelli verticali. Tuttavia, i dati ricavati dalle Diagnosi Energetiche sembrerebbero evidenziare un comportamento opposto. Occorre segnalare che al momento delle misurazioni energetiche raccolte nella Banca Dati, che costituiscono il riferimento per i valori riportati nella Guida del 2019, gli essiccatoi orizzontali erano ordinariamente a 5 piani. Sono oggi disponibili anche essiccatoi orizzontali a 7 piani di ultima generazione, solitamente inseriti in linee dedicate alla produzione di lastre. Ciò potrebbe spiegare i maggiori consumi specifici elettrici degli essiccatoi orizzontali rispetto a quelli verticali. Dal punto di vista termico i consumi specifici degli essiccatoi verticali risultano leggermente inferiori rispetto a quelli orizzontali in linea con quanto indicato nelle fonti di riferimento.

5.3.3.5 Livello D – Smaltatura e decorazione superficiale

Il consumo da imputare al reparto di smaltatura e decorazione superficiale è solo di tipo elettrico e deriva sia dai mulini discontinui, per la preparazione degli smalti, che dalle diverse tecnologie di applicazione degli smalti/decori. L'analisi dei consumi elettrici è stata condotta su un campione di 28 stabilimenti caratterizzati da un processo di preparazione degli smalti discontinuo e aventi differenti tecnologie di applicazione smalti/decori. La retta di regressione, ricavata dall'elaborazione dei dati dei consumi elettrici in funzione delle tonnellate di piastrelle smaltate (t_{SMALT}) è mostrata in Figura 28.

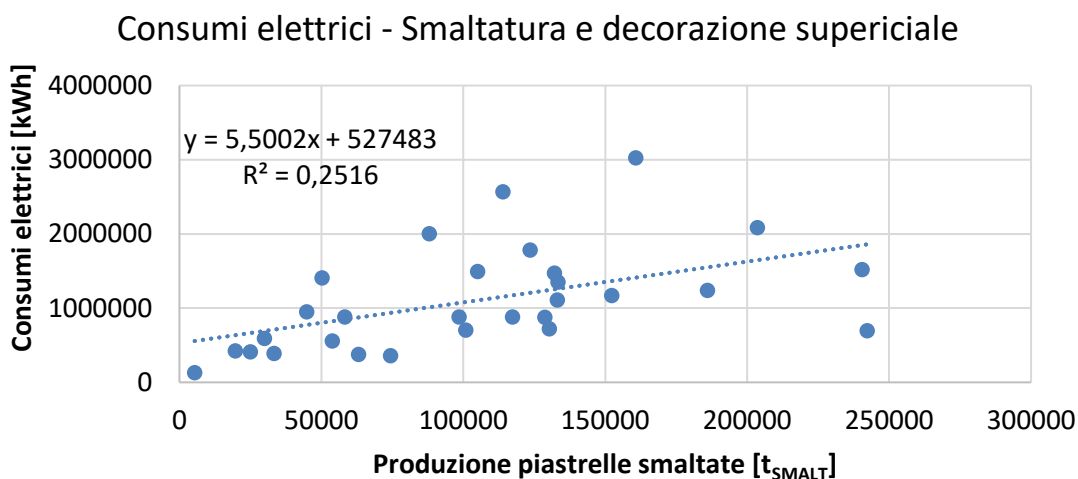


Figura 28. Consumi elettrici di reparto in funzione delle tonnellate di piastrelle smaltate

È importante osservare che i consumi elettrici subiscono variazioni notevoli da uno stabilimento all'altro in funzione della composizione delle linee di smaltatura. Il coefficiente R^2 indica una correlazione bassa tra i consumi elettrici e la produzione specifica individuati in Figura 28. La Tabella 22 mostra il consumo specifico medio per il vettore elettrico calcolato a partire dai dati del 2018. Tale indice non può essere confrontato con alcun valore di riferimento, in quanto le fonti analizzate non riportano dati inerenti alla fase oggetto di analisi.

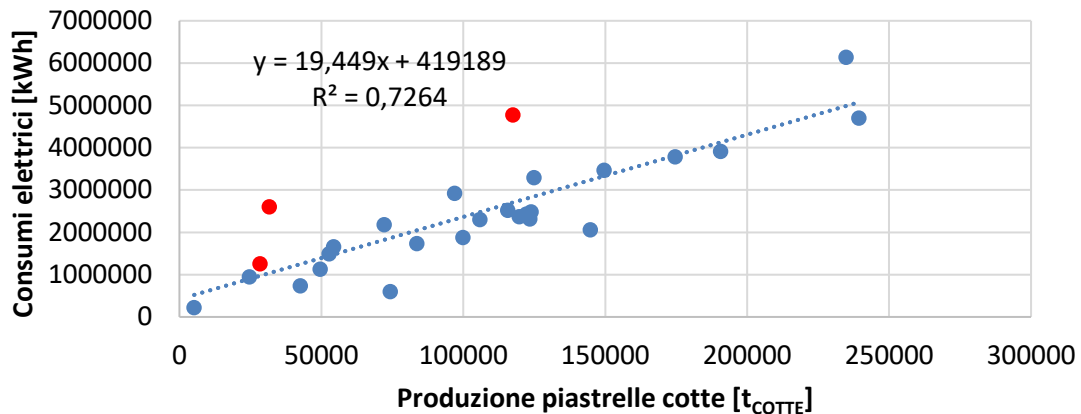
LIVELLO D				
Reparto	u.m.	Valore 2018 ± dev.st	Valori di riferimento	N. fonte
SMALTATURA	[kWh/ t_{SMALT}]	12,5 ± 6,8	-	1
			-	2
			-	3

Tabella 22. Consumo specifico medio (livello D) per il reparto smaltatura e decorazione superficiale

5.3.3.6 Livello D – Cottura

Il consumo da imputare alla fase di cottura è sia di tipo elettrico che termico. L'analisi dei consumi elettrici e di gas naturale è stata condotta rispettivamente su un campione di 27 e 26 stabilimenti caratterizzati da tecnologie di cottura del tipo a rulli (monostrato e/o bicanale). Le rette di regressione, ricavate dall'elaborazione dei dati dei consumi elettrici e di gas naturale in funzione delle tonnellate di piastrelle cotte (t_{COTTE}) sono rispettivamente mostrati in Figura 29.

Consumi elettrici - Cottura



Consumi gas naturale - Cottura

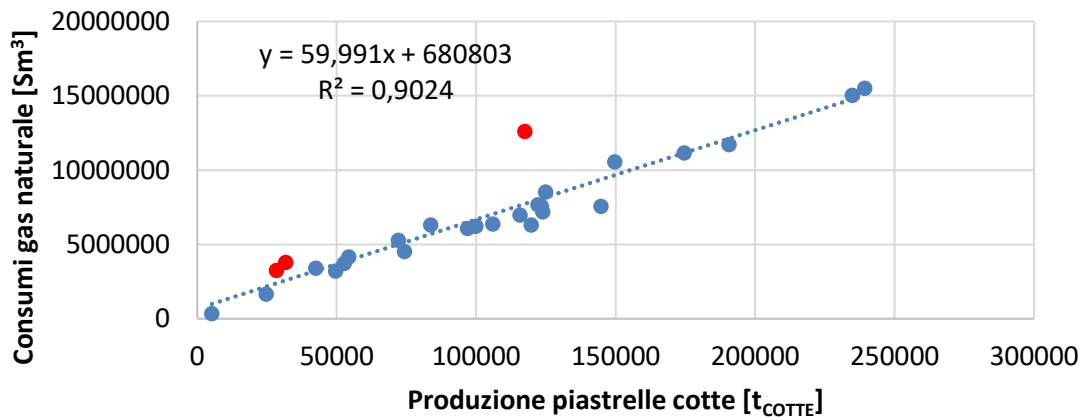


Figura 29. Consumi elettrici e termici di reparto in funzione delle tonnellate di piastrelle cotte

Si osservi che i punti al di sopra delle rette di regressione ed evidenziati in rosso (Figura 29), rappresentano gli stabilimenti in cui vengono esclusivamente prodotte piastrelle in bicottura, mentre i punti in blu rappresentano gli stabilimenti in cui viene prodotto principalmente grès porcellanato. I consumi in fase di cottura sono quindi influenzati dalla tipologia di prodotto nonché da altri fattori tra cui lo spessore, il formato del prodotto, la velocità di attraversamento, la temperatura dell'aria comburente o la pressione del forno. In generale, il coefficiente R^2 indica una correlazione forte, sia per i consumi elettrici che per quelli di gas naturale, rispetto alla produzione specifica.

La Tabella 23 mostra i consumi specifici medi dei soli stabilimenti che producono principalmente grès porcellanato (punti blu) e li confronta con i valori di riferimento ricavati dalle diverse fonti descritte in Tabella 8.

LIVELLO D				
Reparto	u.m.	Valore 2018 ± dev.st	Valori di riferimento	N. fonte
COTTURA	[kWh/t _{COTTE}]	23,3 ± 7,2	5,6 – 41,7'	1
			19,8	2
			20,1 – 22,7	3
	[Sm ³ /t _{COTTE}]	65,1 ± 6,9	54,3 – 137,1'	1
			59,8 – 76,6'	2
			78,7 – 86,4'	3

* valori convertiti nell'u.m. corrispondente

Tabella 23. Indici specifici medi IPEs (livello D) per la fase di cottura

I consumi specifici medi per il vettore gas naturale rientrano nei valori di riferimento considerati, mentre quelli elettrici sono leggermente superiori al riferimento del GSE e a quello della Banca Dati del 1998 relativo ai forni a rulli. Le Diagnosi individuano diverse possibili cause per l'aumento dei consumi tra cui un riempimento non ottimale della sezione del forno, un alto numero di vuoti o di pause del forno, impianti datati o un'accensione continua del forno (per evitare fenomeni di usura dovuti allo stress termico). Considerando solamente i tre stabilimenti che producono piastrelle in bicottura (punti in rosso), i consumi specifici tendono ad aumentare e sono pari a 55,5 kWh/t_{cotte} per il vettore elettrico e a 115,4 Sm³/t_{COTTE} per il vettore gas naturale.

5.3.3.7 Livello D – Lavorazioni meccaniche

Il consumo da imputare alla fase di lavorazioni meccaniche è solo di tipo elettrico e deriva dalle diverse tecnologie utilizzate. L'analisi dei consumi elettrici è stata condotta su un campione di 18 stabilimenti caratterizzati da diverse tecnologie per la finitura delle piastrelle. La retta di regressione, ricavata dall'elaborazione dei dati dei consumi elettrici in funzione delle tonnellate di piastrelle soggette a finitura (t_{FIN}) è mostrata in Figura 30.

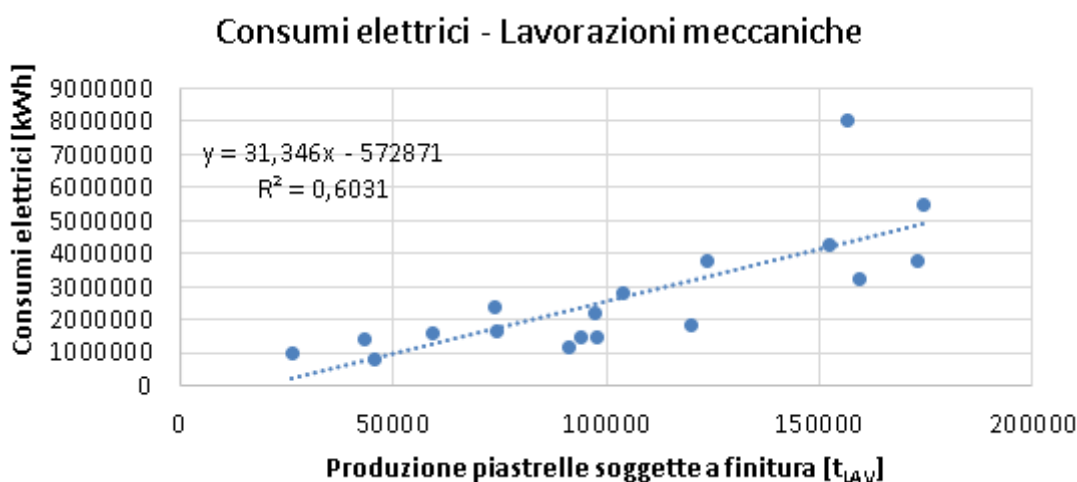


Figura 30. Consumi elettrici di reparto in funzione delle tonnellate di piastrelle soggette a lavorazioni

È importante osservare che i consumi elettrici subiscono variazioni notevoli da uno stabilimento all'altro in funzione della composizione delle linee e del ciclo di lavorazioni a cui è sottoposto il prodotto finito. Il coefficiente R^2 indica una correlazione medio/bassa tra i consumi elettrici e la produzione specifica individuati in Figura 30. La Tabella 24 mostra il consumo specifico medio per il vettore elettrico calcolato a partire dai dati del 2018. Tale indice non può essere confrontato con alcun valore di riferimento, in quanto le fonti analizzate non riportano dati inerenti alla fase oggetto di analisi.

LIVELLO D				
Fase	u.m.	Valore 2018 \pm dev.st	Valori di riferimento	N. fonte
LAVORAZIONI MECCANICHE	[kWh/t _{LAV}]	24,5 \pm 7,2	-	1
			-	2
			-	3

Tabella 24. Consumo specifico medio (livello D) per il reparto lavorazioni meccaniche

Sulla base dei dati di 6 stabilimenti, che effettuano solamente operazioni di fine linea, sono state effettuate delle considerazioni aggiuntive. In questi stabilimenti il processo produttivo prevede sostanzialmente la lavorazione del materiale prodotto esternamente, che viene successivamente sottoposto ad operazioni di scelta e confezionamento. Si osservi che per questi stabilimenti erano note le produzioni finali (esprese in mq) ma non venivano fornite indicazioni sulle produzioni specifiche per reparto. Supponendo che la produzione finale non si discosti eccessivamente dalla produzione specifica, si è deciso di riportare l'andamento dei consumi dovuti alle lavorazioni meccaniche in funzione dei mq versati a magazzino (Figura 31).

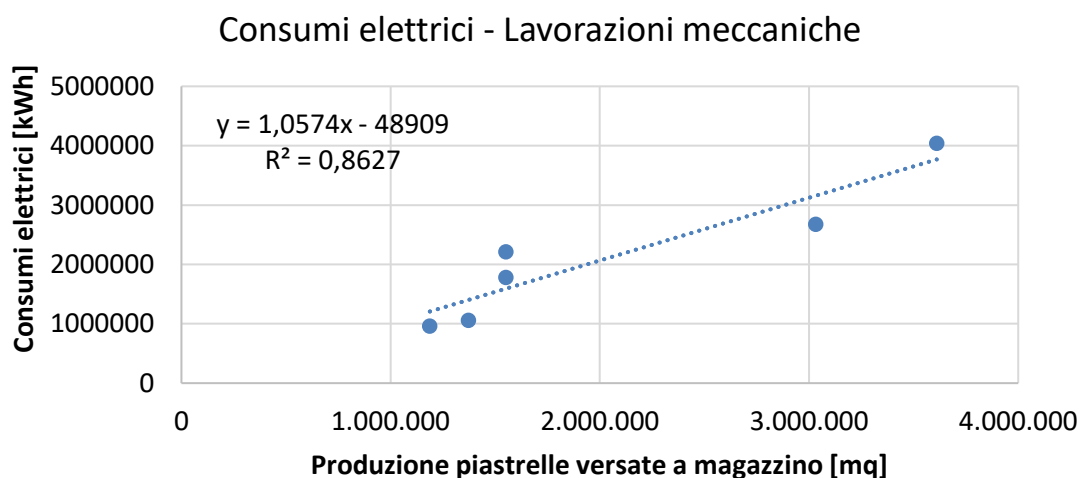


Figura 31. Consumi elettrici di reparto per gli stabilimenti che effettuano solo operazioni di fine linea

In questo caso, l'indice per il consumo specifico calcolato a partire dai dati delle Diagnosi Energetiche è compreso tra 0,8 e 1,4 kWh/mq.

5.3.3.8 Livello D – Scelta e confezionamento

Il consumo da imputare alla fase di scelta e confezionamento è sia di tipo elettrico che termico. L'analisi dei consumi elettrici e di gas naturale è stata condotta rispettivamente su un campione di 65 e 47 stabilimenti. In Figura 32 si riporta l'andamento dei consumi elettrici e di gas naturale in funzione della produzione specifica che, in questo caso, corrisponde alle tonnellate di piastrelle versate a magazzino.

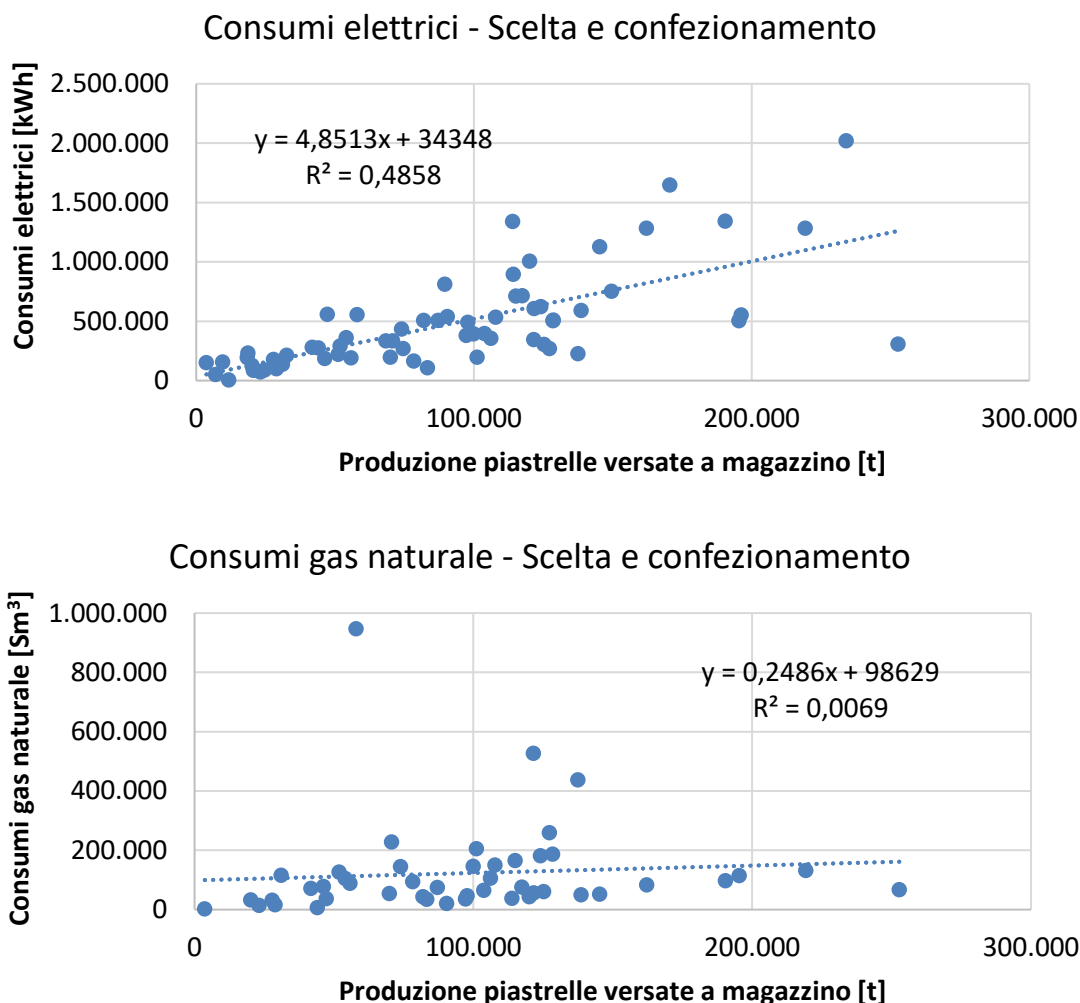


Figura 32. Consumi elettrici e di gas naturale di reparto in funzione delle tonnellate di piastrelle versate a magazzino

In generale, il coefficiente R^2 indica una correlazione bassa, sia per i consumi elettrici che per quelli di gas naturale, rispetto alla produzione specifica. La Tabella 25 mostra i consumi specifici medi calcolati a partire dai dati del 2018. Tali consumi non possono essere confrontati con alcun valore di riferimento, in quanto le fonti analizzate non riportano dati inerenti alla fase oggetto di analisi.

LIVELLO D				
Reparto	u.m.	Valore 2018 ± dev.st	Valori di riferimento	N. fonte
SCELTA E CONFEZIONAMENTO	[kWh/t]	6,1 ± 5,3	-	1
			-	2
			-	3
	[Sm ³ /t]	1,5 ± 2,4	-	1
			-	2
			-	3

Tabella 25. Consumi specifici medi (livello D) per il reparto scelta e confezionamento

6 Variabili di processo e sistemi di monitoraggio

L'analisi energetica ha messo in evidenza che i consumi di sito sono influenzati da diverse variabili di processo, in funzione delle quali le fasi risultano più o meno energivore. Inoltre, la variabilità dei consumi è strettamente legata alla tipologia di prodotto, oltre che ad altri fattori quali lo spessore e il formato. Possono inoltre sussistere variabili gestionali dipendenti ad esempio da un riempimento ottimale o da un corretto utilizzo operativo delle macchine di processo. Anche le effettive condizioni di funzionamento delle macchine (presenza di n° di vuoti o pause nei cicli di produzione) possono comportare inefficienze dal punto di vista dei consumi, così come la presenza di impianti datati. Scopo del presente capitolo è quello di definire quali ulteriori variabili influenzino i consumi energetici, valutare il grado di penetrazione dei sistemi di monitoraggio/SGE e la loro copertura sulle variabili individuate.

6.1 Analisi dei dati di dettaglio richiesti alle aziende

Al fine di individuare le variabili di processo più comunemente monitorate nelle aziende italiane produttrici di piastrelle ceramiche si è proceduto, in un primo tempo, analizzando i dati e le informazioni contenuti all'interno delle Diagnosi Energetiche a disposizione di ENEA. A valle dell'analisi preliminare, sono emerse delle criticità dovute alla mancanza di informazioni con tale grado di dettaglio. A completamento dello studio svolto e con la principale finalità di chiarire le incertezze emerse durante l'elaborazione delle Diagnosi Energetiche, è stata condotta un'ulteriore indagine in collaborazione con le aziende del settore. Grazie alla partecipazione di Confindustria Ceramica è stata inviata, a ciascuna azienda, una scheda specifica di richiesta dati, pensata e redatta allo scopo di:

- identificare le variabili di processo che influenzano i consumi specifici per fase
- valutare il grado di copertura dei sistemi di monitoraggio/SGE sulle variabili individuate
- definire i relativi sistemi di misura impiegati

Poiché i dati monitorati derivano in parte da misure ed in parte da calcoli si è provveduto a definire tre tipologie di sistemi di monitoraggio:

- misure in continuo: quando le utenze sono dotate di strumentazione fissa che misura in continuo
- misure a spot: quando vengono effettuate campagne di misura saltuarie dall'azienda
- misure indirette: quando le utenze non sono dotate di strumenti di misura dedicati né vengono eseguite misurazioni saltuarie, ma viene effettuata una stima a partire dai dati di potenza nominale, dalle ore di funzionamento annuo o da altre grandezze misurate/stimate.

Un template della scheda inviata è mostrato in Figura 33. La scheda si compone di due sezioni, la prima relativa ai dati specifici del sito produttivo, della tipologia di prodotto versato a magazzino. In particolare è stata fatta una distinzione del prodotto in funzione della superficie e dello spessore. La seconda sezione definisce alcune informazioni di dettaglio distinte per reparto produttivo. Occorre premettere che, come osservato nei capitoli precedenti, i consumi dei reparti di smaltatura e di lavorazioni meccaniche subiscono variazioni notevoli da uno stabilimento all'altro in funzione della composizione delle linee e del ciclo di lavorazioni a cui è sottoposto il prodotto finito. Per questo motivo l'attenzione si è focalizzata sui restanti reparti del processo produttivo. Come evidenziato in figura, la scheda consente di selezionare e/o indicare quali variabili sono inserite nel sistema di monitoraggio/SGE e di definirne il relativo sistema di misura impiegato. Per le misure indirette è possibile specificare le grandezze misurate e il metodo di calcolo utilizzato. Si precisa, che è ancora in corso la fase di raccolta dati da parte delle aziende ceramiche.

TIPOLOGIA PRODUTTIVA							
<p>Con riferimento all'anno 2018, indicare quali tipologie di piastrelle sono state prodotte in stabilimento:</p> <p><input type="checkbox"/> Gres porcellanato</p> <p><input type="checkbox"/> Monocottura chiara</p> <p><input type="checkbox"/> Monocottura rossa</p> <p><input type="checkbox"/> Monoporosa</p> <p><input type="checkbox"/> Bicottura (prodotto finito)</p> <p><input type="checkbox"/> Bicottura (supporto cotto trasferito a terzi)</p>							
<p>Con riferimento all'anno 2018 indicare nelle matrici successive:</p> <ul style="list-style-type: none"> - le tonnellate di gres versato a magazzino in funzione della superficie e dello spessore - le tonnellate di monocottura chiara versata a magazzino in funzione della sola superficie - le tonnellate di monocottura rossa versata a magazzino in funzione della sola superficie - le tonnellate di monoporosa versata a magazzino - le tonnellate di bicottura (come prodotto finito o supporto cotto) versate a magazzino 							
			GRES PORCELLANATO	MONOCOTTURA CHIARA	MONOCOTTURA ROSSA		
			SPESORE				
			0,3-0,8 [cm]	0,8-1,4 [cm]	>1,4 [cm]		
SUPERFICIE	0,00-0,80 [mq]	t/anno...	t/anno...	t/anno...	t/anno...	t/anno...	
	0,81-2,00 [mq]	t/anno...	t/anno...	t/anno...	t/anno...	t/anno...	
	>2,00 [mq]	t/anno...	t/anno...	t/anno...	t/anno...	t/anno...	
MONOPOROSA					t/anno...		
BICOTTURA		prodotto finito			t/anno...		
		supporto cotto trasferito a terzi			t/anno...		
FASE DI MACINAZIONE							
<p>Specificare quali tra le seguenti variabili sono inserite nel sistema di monitoraggio/SGE e definire il relativo sistema di misura impiegato.</p>							
	Misure in continuo	Misure a spot	Misure indirette*	*Specificare le grandezze misurate e il metodo di calcolo			
<input type="checkbox"/> Velocità di rotazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Tempo di macinazione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Volume materiale in ingresso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Volume corpi macinanti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Densità barbottina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Viscosità barbottina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Granulometria barbottina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Umidità barbottina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Altro (indicare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Altro (indicare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Altro (indicare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Altro (indicare)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Figura 33. Template della scheda di richiesta dati fornita alle aziende ceramiche

6.2 Grado di penetrazione dei sistemi di monitoraggio

Il sistema di monitoraggio rappresenta il principale strumento di controllo ed analisi dei consumi energetici. Al fine di valutare il grado di penetrazione dei sistemi di monitoraggio/SGE per ciascun vettore energetico, sono state analizzate 45 Diagnosi Energetiche ed in particolare i fogli F aggiornati all'ultima versione. Segue una tabella riepilogativa dei consumi elettrici e termici suddivisi per area funzionale (livello C) con indicazione della quota parte oggetto di misura e dell'incidenza dei consumi misurati sui consumi totali.

ENERGIA ELETTRICA				
Livello	Consumi totali		Consumi misurati	Incidenza consumi misurati sui consumi totali
Livello C	Kwh/anno	%	kWh/anno	%
Attività principali	659.686.206	70%	478.831.278	72,6%
Servizi ausiliari	239.626.606	25%	113.823.801	47,5%
Servizi generali	52.192.325	5%	14.193.298	27,2%
Totale	951.505.137	100%	606.848.377	63,9%

GAS NATURALE				
Livello	Consumi totali		Consumi misurati	Incidenza consumi misurati sui consumi totali
Livello C	Sm ³ /anno	%	Sm ³ /anno	%
Attività principali	533.363.085	97%	433.982.233	81,4%
Servizi ausiliari	0	0%	-	0,0%
Servizi generali	14.913.852	3%	8.123.276	54,5%
Totale	548.276.937	100%	442.105.509	80,6%

Tabella 26. Grado di penetrazione dei sistemi di monitoraggio (livello C)

Dalla Tabella 26 risulta che, mediamente, il monitoraggio dei consumi di gas naturale risulta essere più esteso rispetto a quello elettrico. Per quanto riguarda le singole utenze, vengono di seguito presentati i dati per ciascun vettore energetico relativi al livello D.

ENERGIA ELETTRICA				
Livello	Consumi totali		Consumi misurati	Incidenza consumi misurati sui consumi totali
Livello D	Kwh/anno	%	kWh/anno	%
Macinazione	197.579.049	30%	161.164.407	81,6%
Atomizzazione	41.273.741	6%	32.879.647	79,7%
Pressatura	112.348.138	17%	74.058.563	65,9%
Essiccazione	70.137.192	11%	50.005.735	71,3%
Smaltatura	98.906.053	15%	77.135.112	78,0%
Cottura	44.432.463	7%	24.390.781	54,9%
Lavorazioni mecc.	71.340.811	11%	50.856.614	71,3%
Scelta e confez.	20.628.914	3%	8.218.364	39,8%
Altro	3.039.845	0%	122.054	4,0%
Totale	659.686.206	100%	478.831.278	72,6%

Movimentazione	11.026.377	5%	2.748.578	24,9%
Aria compressa	68.888.718	29%	53.685.558	77,9%
Pompaggio	15.358.504	6%	1.674.473	10,9%
Aspirazioni e dep.	132.665.464	55%	50.048.770	37,7%

Altro	11.687.543	5%	5.666.422	48,5%
Totale	239.626.605	100%	113.823.801	47,5%

Illuminazione	28.405.309	54%	6.858.510	24,1%
Uffici e lab.	9.377.628	18%	4.623.160	49,3%
ACS	113	0%	-	0,0%
Riscaldamento	3.784.509	7%	331.153	8,8%
Altro	10.624.766	20%	2.380.475	22,4%
Totale	52.192.324	100%	14.193.298	27,2%

GAS NATURALE				
Livello	Consumi totali		Consumi misurati	Incidenza consumi misurati sui consumi totali
Livello D	Kwh/anno	%	kWh/anno	%
Atomizzazione	125.393.803	24%	117.326.201	93,6%
Quotaparte cogen	52.362.800	10%	1.104.493	2,1%
Essiccazione	67.830.718	13%	56.733.351	83,6%
Cottura	281.347.802	53%	258.095.987	91,7%
Termoretrazione	5.136.715	1%	637.640	12,4%
Altro	1.291.248	0%	84.561	6,5%
Totale	533.363.085	100%	433.982.233	81,4%

Uffici e lab.	130.809	1%	0	0,0%
ACS	65.864	0%	40.835	62,0%
Riscaldamento	8.462.100	57%	1.827.363	21,6%
Altro	6.255.078	42%	6.255.078	100,0%
Totale	14.913.852	100%	8.123.276	54,5%

Tabella 27. Grado di penetrazione dei sistemi di monitoraggio (livello D)

7 Tecnologie e soluzioni per la riduzione dei consumi specifici

Scopo del presente capitolo è quello di fornire un elenco il più completo possibile delle soluzioni tecnologiche che, allo stato dell'arte, potrebbero essere considerate per l'efficientamento energetico del sito. Verranno rappresentate le principali soluzioni tecnologiche presenti oggi sul mercato suddivise per ogni fase del processo produttivo. Verranno inoltre proposti anche i principali interventi che potrebbero essere presi in considerazione per l'efficientamento degli impianti ausiliari. Ovviamente l'individuazione di un possibile intervento di efficientamento non può prescindere dalla peculiarità specifica del sito produttivo, da un'analisi di fattibilità e da un'analisi costo-beneficio.

7.1 Azioni di miglioramento per reparto

Gli interventi di seguito proposti sono suddivisi sulla base delle principali fasi di processo e rappresentati in tabelle dove ciascuna fase viene suddivisa ulteriormente nelle sue componentistiche caratteristiche principali (Oggetto della soluzione) e per ciascuna di queste vengono proposte una o più soluzioni tecnologiche (Soluzione), accanto ad ogni soluzione tecnologica vengono riportati i riferimenti bibliografici utili per eventuali approfondimenti e infine eventuali note e contributi di esperti dell'associazione di categoria che forniscono ulteriori informazioni riguardo la soluzione individuata.

Le strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie di macinazione sono riepilogate in Tabella 28 nella quale la 1° colonna indica il macchinario su cui l'intervento agisce, la 2° fornisce una descrizione dell'intervento, mentre la 3° il riferimento bibliografico per avere ulteriori informazioni sull'intervento.

MACINAZIONE			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	Commenti da esperti
Mulino di macinazione	Installazione mulini ad alta efficienza	(18)	
	Macinazione separata dei materiali di densità e durezza differente	(10)	
	Macinazione continua modulare	(19)	Soluzione tecnologica emergente estratta dai dati di aziende produttrici di impianti per il settore della ceramica
	Innalzamento della temperatura dell'acqua di alimentazione dei mulini per la macinazione a umido	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Analisi sui cicli di macinazione	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Introduzione di corpi macinanti specifici in termini di densità e di geometria costruttiva	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
Cogeneratore	Recupero di calore dall'acqua di raffreddamento del motore primo o dal circuito di raffreddamento dell'olio per il preriscaldamento dell'acqua di alimentazione del mulino	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	

Tabella 28. Soluzioni tecnologiche relative al reparto di macinazione

Le strategie per ridurre i consumi energetici del reparto per la regolazione del contenuto d'acqua sono riepilogate in Tabella 29.

REGOLAZIONE DEL CONTENUTO D'ACQUA			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	Commenti da esperti
Atomizzatore	Macinazione a umido in continuo	(10), (13), (18), (20)	
	Macinazione a secco e granulazione	(13), (18), (20)	
	Miscelazione di polvere macinata a secco con la barbotina macinata a umido	(21), (22)	Soluzione tecnologica emergente estratta dai dati di aziende produttrici di impianti per il settore della ceramica
	Innalzamento del tenore in solido della barbotina	(13)	
	Innalzamento della temperatura di ingresso dei gas	(13)	
	Recupero della polvere atomizzata e dello scarto crudo	(13)	
	Cogenerazione con turbina a gas	(7), (13), (23), (24)	
	Impiego di combustibili alternativi	(23)	
	Ottimizzazione della distribuzione del profilo di velocità dell'aria e bruciatori ad alta velocità di fiamma	(17)	
	Installazione abbattitore a barbotina	(17)	
	Adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti	(17)	
	Cogeneratore	Termografia degli impianti per rilevamento di dispersione	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche
Innalzamento della temperatura di ingresso della barbotina		Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
Recupero di calore dall'acqua di raffreddamento del motore primo o dal circuito di raffreddamento dell'olio per il preriscaldamento dell'aria secondaria in ingresso all'atm o per il preriscaldamento della barbotina in ingresso all'atomizzatore		Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
Recupero di calore dai fumi di scarico del cogeneratore per l'atomizzatore		(13), (23)	

Tabella 29. Soluzioni tecnologiche relative al reparto per la regolazione del contenuto d'acqua

Le strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie di formatura sono riepilogate in Tabella 30.

FORMATURA			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	Commenti da esperti
Pressa	Presso-Smaltatura	(10), (18), (20)	
	Installazione di presse a risparmio energetico	(10), (18), (20)	
	Installazione di sistemi di pressatura in continuo	(19), (25)	Soluzione tecnologica emergente estratta dai dati di aziende produttrici di impianti per il settore della ceramica
	Sostituzione di scambiatori aria-olio con nuovi dotati di inverter	Soluzione estratta dalle diagnosi	

Tabella 30. Soluzioni tecnologiche relative al reparto di pressatura

Le strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie di essiccazione sono riepilogate in Tabella 31.

ESSICCAZIONE			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	Commenti da esperti
Essiccatoio	Recupero di calore dall'aria in uscita degli essiccatoi per il preriscaldamento dell'aria comburente dell'atomizzatore	(18)	
	Ottimizzazione della ricircolazione dell'aria di essiccazione	(13), (20), (23), (26)	
	Deumidificazione controllata	(20), (23)	Utilizzato nell'industria delle stoviglie
	Installazione essiccatoi con recupero totale di calore dal forno di cottura	(19)	Soluzione tecnologica emergente estratta dai dati di aziende produttrici di impianti per il settore della ceramica
	Essiccazione senza aria	(20), (23)	
	Essiccazione super rapida	(10), (18), (20)	
	Aria calda pulsata	(18), (20)	
	Essiccazione a microonde	(18), (20), (23), (26)	
	Essiccazione ad infrarossi	(18), (20), (26)	
	Uso di combustibili alternativi	(23)	
	Miglioramento dell'isolamento termico negli essiccatoi	(18)	
	Sistemi di controllo e regolazione della portata del gas metano e dell'aria calda interna	(17)	

	Adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti	(17)	
	Termografia degli impianti per rilevamento di dispersione	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
Cogeneratore	Recupero di calore dai fumi di scarico del cogeneratore per la fase di essiccazione	(13), (23)	

Tabella 31. Soluzioni tecnologiche relative al reparto di essiccazione

Le strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie di smaltatura sono riepilogate in Tabella 32.

SMALTATURA E DECORAZIONE SUPERFICIALE			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	Commenti da esperti
Linee di smaltatura o decorazione superficiale	Utilizzo di smalti e inchiostri a base d'acqua con una granulometria standard	(9)	Permette di eliminare i sistemi di aspirazione con conseguente riduzione dei consumi energetici

Tabella 32. Soluzioni tecnologiche relative al reparto di smaltatura

Le strategie per ridurre i consumi energetici nel reparto di cottura sono riepilogate in Tabella 33.

COTTURA			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	Commenti da esperti
Forno (zona di preriscaldamento)	Ottimizzazione del passaggio tra essiccatoio (preforno) e il forno. Utilizzo anche della zona di preriscaldamento del forno per terminare il processo di essiccazione	(18), (26)	
Forno (zona di cottura)	Recupero di calore dai fumi di cottura del forno da destinare all'atomizzatore o agli essiccatoi	(13), (18), (17)	È necessario uno scambiatore di calore per eliminare ogni forma di contaminazione
	Recupero di calore dai fumi di cottura del forno per gli essiccatoi posti all'ingresso del forno (preforno)	(27)	È necessario uno scambiatore di calore per eliminare ogni forma di contaminazione
	Recupero di calore dai fumi esausti/aria di raffreddamento del forno per la produzione di energia elettrica (tramite ORC)	(18), (23), (28)	Soluzione tecnologica emergente estratta dai dati di aziende produttrici di impianti per il settore della ceramica

	Impiego di impasti più fondenti e di composizioni tali da prevenire il cuore nero	(13)	
	Sfruttamento ottimale della capacità produttiva	(13)	
	Installazione forni bicanali	(18)	
	Cottura rapida in forno a rulli	(5), (10), (20)	
	Produzione di piastrelle con spessori standard (6-22mm)	(13), (17)	Per spessori < 6 mm, i consumi specifici aumentano (cicli di cottura più rapidi ma il prodotto è leggero) Per spessori > 22 mm e superfici > 3 m ² , i consumi specifici aumentano (cicli di cottura più lunghi)
	Riduzione dei formati delle piastrelle	(17)	A formati maggiori corrispondono cicli di cottura più lunghi
	Riempimento ottimale della sezione del forno	(17)	
	Riduzione del n. di vuoti o pause forno	(17)	
	Sostituzione di impianti e tecnologia datati	(13)	
	Sostituzione dei forni con modelli più efficienti	(18), (13)	
	Miglioramento dell'isolamento termico del forno	(18), (26)	
	Miglioramento dell'isolamento termico del forno	(18), (26)	
	Controllo interattivo dei regimi di cottura del forno	(26)	
	Riduzione della massa termica della struttura del forno	(20), (23)	
	Uso di combustibili alternativi	(20), (23)	
	Cottura assistita da microonde	(18), (20), (23)	
	Cottura a impulsi	(20)	
	Inertizzazione	(18), (20), (23)	
	Sistemi di accumulo termico/materiali a cambiamento di fase (PCM- TES)	(23)	
	Adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti	(17)	
	Ottimizzazione della gestione dei vuoti forno con regolazione automatica del regime di "bassa fiamma"	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Termografia degli impianti per rilevamento di dispersione	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	

Forno (zona di raffreddamento)	Recupero di calore dall'aria di raffreddamento del forno per preriscaldare l'aria comburente del forno	(8), (13), (20), (23), (26), (29)	Con o senza scambiatore di calore
	Recupero di calore dall'aria di raffreddamento del forno per preriscaldare l'aria comburente dell'atomizzatore	(18)	
	Recupero di calore dall'aria di raffreddamento del forno utilizzata come reintegro e aria comburente negli essiccatoi	(13), (17), (20), (23), (26), (29)	
	Recupero di calore dall'aria di raffreddamento del forno per il riscaldamento ambientale	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
Bruciatori	Installazione di bruciatori ad alta efficienza o ad alta velocità	(18), (20), (23), (26)	
	Installazione bruciatori auto recuperativi e ottimizzazione fluidodinamica della geometria interna	(17)	

Tabella 33. Soluzioni tecnologiche relative al reparto di cottura

Tutti i reparti prevedono degli impianti ausiliari, le cui strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie sono riepilogate in Tabella 34.

IMPIANTI AUSILIARI			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	Commenti da esperti
Motori (aspirazioni, depurazioni, pompaggio)	Installazione di motori elettrici ad alta efficienza (IE3 o superiori)	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installazione motori a velocità variabile con inverter	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installazione di dispositivi di ottimizzazione del voltaggio	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installazione di inverter su motori esistenti	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Sostituzione dei sistemi di trasmissione convenzionale con sistemi di trasmissione a cinghie con motori sincroni senza magneti	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
Aria compressa	Recupero di calore dai compressori per il riscaldamento ambientale	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	

	Ottimizzazione della temperatura dell'aria in ingresso	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Prelievo di aria dall'esterno
	Ottimizzazione della pressione di produzione dell'aria	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Abbassare la pressione di 0,2 bar per volta, fino ad arrivare al valore min consentito
	Sostituzione ugelli soffiatori con ventilatori centrifughi ad alta prevalenza	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Sostituzione ugelli soffiatori con amplificatori del flusso d'aria	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installazione a monte degli ugelli di valvole di soffiaggio ad impulsi	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Gestione apertura del circuito tramite un sistema di fotocellule	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Ricerca e riparazione perdite	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
Illuminazione	Sostituzione impianto illuminazione esistente con sistema a LED	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	

Tabella 34. Soluzioni tecnologiche relative agli impianti ausiliari

7.2 Casi studio

Nel seguente paragrafo vengono descritti alcuni casi studio relativi ad interventi per l'efficientamento energetico. I casi studio sono stati selezionati tra quelli più rappresentativi del settore ceramico, al fine di individuare possibili strategie e i benefici attesi dalla loro stessa implementazione.

7.2.1 Recupero di calore da forni a essiccatoi

Il primo caso studio analizza uno degli interventi che, a partire dagli anni '80, ha trovato una forte applicazione nel settore, ovvero il recupero dei cascami termici in uscita dalla fase di cottura.

Nei forni moderni il bilancio energetico è tale per cui circa il 20-25% del calore immesso viene disperso attraverso il camino dei fumi, nella zona di cottura, un altro 30-35% viene evacuato dai camini nella zona di raffreddamento (8). Una parte dell'aria di raffreddamento può essere recuperata all'interno del forno stesso come aria di combustione, mentre la restante parte può essere recuperata direttamente a beneficio del processo di essiccazione. I recuperi dell'aria di raffreddamento "tal quale" sugli essiccatoi verticali possono essere di due tipi:

- recupero di aria calda come aria di diluizione, al posto dell'aria ambiente
- recupero di aria calda utilizzata sia come aria di diluizione sia come aria comburente

I recuperi ottenibili sono in funzione della temperatura e della qualità dell'aria calda disponibile all'essiccatoio e possono variare dall'8%, nel primo caso, fino al 20% nel secondo caso.

Viene di seguito analizzato un caso studio relativo ad un recupero dell'aria di raffreddamento "tal quale" di n. 2 forni a beneficio di n. 6 essiccatoi verticali. I dati, oggetto di analisi, provengono da uno studio condotto in passato dal Centro Ceramico, volto a definire i benefici associati al recupero dell'aria di raffreddamento sia come aria di diluizione che come aria di diluizione e combustione. In Tabella 35 vengono riassunti i dati relativi ai consumi di energia termica di un essiccatoio "tipo" impiegato nella produzione di grès porcellanato senza recupero di calore.

Produzione	4.800	kg _{essiccato} /h
Consumo specifico	100	kcal/kg _{essiccato}
Fabbisogno termico	480.000	kcal/h
Consumo gas naturale	57	Sm ³ /h
Tempo di funzionamento annuo	3.600	h/anno

Tabella 35. Consumi di energia termica per un essiccatoio "tipo" senza recupero di calore da forno

In Figura 34 si propone lo schema impiantistico relativo all'intervento oggetto di analisi i cui dati tecnici sono riassunti in Tabella 36.

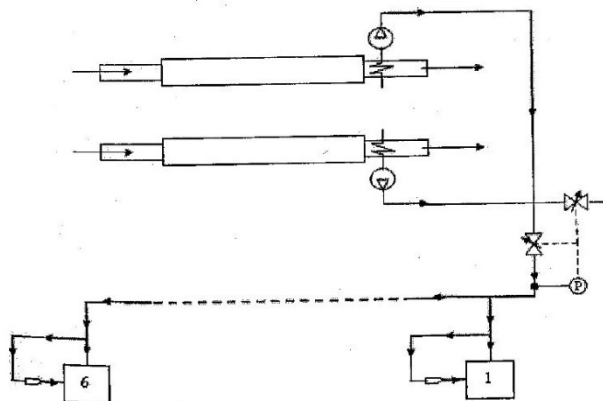


Figura 34. Schema impiantistico di esempio relativo all'intervento di recupero di calore da forno

Portata fumi esausti essiccatoio	3.000÷5.000	Nm ³ /h
Temperatura media fumi esausti essiccatoio	150	°C
Portata aria di combustione essiccatoio	2.000	Nm ³ /h
Temperatura aria di combustione essiccatoio	30	°C
Portata aria di raffreddamento forno	7.000	Nm ³ /h
Temperatura aria di raffreddamento forno	220	°C
Portata aria recuperabile (come diluizione)	1.000÷2.000	Nm ³ /h
Portata aria recuperabile (come diluizione + combustione)	2.000÷3.000	Nm ³ /h

Tabella 36. Dati tecnici relativi all'intervento di recupero di calore da forno

Si consideri inoltre una perdita di calore pari a $\Delta t_1=20$ °C nella tubazione coibentata (circa 0,2 °C/m per una distanza media di 100 m) e $\Delta t_2=30$ °C nelle tubazioni di raccordo con gli essiccatoi.

Il calore recuperabile per un essiccatoio (solo come aria di diluizione) viene calcolato come segue:

$$H [\text{Nm}^3/\text{h}] \times c_p [\text{kcal}/\text{Nm}^3\text{°C}] \times \Delta t [\text{°C}] = 1.000 \times 0,31 \times (220 - 20 - 30 - 30) = 43.400 \text{ kcal/h}$$

Equivalente a:

$$\frac{43.400 \text{ kcal/h}}{8.400 \text{ kcal}/\text{Sm}^3} = 5,2 \text{ Sm}^3/\text{h} \text{ di gas naturale}$$

Il risparmio energetico associato al recupero dell'aria di raffreddamento come sola aria di diluizione viene valutato come segue:

$$\frac{5,2 \text{ Sm}^3/\text{h}}{57 \text{ Sm}^3/\text{h}} \times 100 = 9\%$$

Il calore recuperabile per un essiccatoio (come aria di diluizione + combustione) viene calcolato come segue:

$$H [\text{Nm}^3/\text{h}] \times c_p [\text{kcal}/\text{Nm}^3\text{°C}] \times \Delta t [\text{°C}] = 2.000 \times 0,31 \times (220 - 20 - 30 - 30) = 86.800 \text{ kcal/h}$$

Equivalente a:

$$\frac{86.800 \text{ kcal/h}}{8.400 \text{ kcal}/\text{Sm}^3} = 10,3 \text{ Sm}^3/\text{h} \text{ di gas naturale}$$

Il risparmio energetico associato al recupero dell'aria di raffreddamento come aria di diluizione e combustione viene valutato come segue:

$$\frac{10,3 \text{ Sm}^3/\text{h}}{57 \text{ Sm}^3/\text{h}} \times 100 = 18\%$$

In riferimento a quest'ultimo recupero di aria, considerando un investimento iniziale di circa 45.000€ e una tariffa di acquisto per il gas naturale pari a 0,30 €/Sm³, è stata eseguita una valutazione economica dell'investimento riassunta in Tabella 37.

Periodo di riferimento	T	Anni	10
Tasso di attualizzazione	r	%	0,35%
Investimento	I	€	45.000
Risparmio Totale Stimato	R	€/anno	55.620
Tempo di ritorno semplice	TR	Anni	1,11
Valore attuale netto	VAN	€	373.323

Tabella 37. Valutazione economica relativa all'intervento di recupero di calore da forno

Una soluzione alternativa al recupero dell'aria "tal quale", utilizza degli scambiatori di calore del tipo aria/aria, in cui l'aria calda in uscita dai camini cede calore all'aria in ingresso agli essiccatoi. Questa soluzione da un lato appesantisce l'investimento, in quanto fortemente influenzato dalle caratteristiche dei materiali utilizzati e dalla distanza tra il forno e l'essiccatoio, ma dall'altro elimina ogni eventuale rischio in termini di possibili inquinanti riciccolati. Si ipotizza che un sistema di questo tipo potrebbe coprire il 20-30% del fabbisogno dell'essiccatoio come verificato dal monitoraggio di interventi simili. Gli impianti per il recupero di calore dalla zona di raffreddamento del forno per il preriscaldamento dell'aria in ingresso all'essiccatoio sono in linea di principio incentivabili con l'emissione di TEE. Il quantitativo di TEE generati dipende dal risparmio effettivamente ottenuto.

7.2.2 Installazione di inverter su motori elettrici

Il caso oggetto di studio riguarda l'implementazione del sistema di ricircolo aria in n. 4 essiccatoi orizzontali a 5 piani mediante l'installazione di inverter sui motori dei ventilatori. Tale intervento trova applicazione principalmente in quei processi industriali che hanno una domanda di aria di ventilazione variabile, in relazione all'andamento del processo produttivo. L'installazione di inverter permette di regolare il regime di rotazione in funzione delle ricette oppure di abbassarlo in tutti quei periodi di attesa in cui l'essiccatoio non produce. Nel caso in esame su ogni essiccatoio sono installati 8 ventilatori per una potenza elettrica del sistema di ricircolazione aria di 480 kWh. Sulla base di dati desunti da installazioni similari, è stato stimato un risparmio in termini di consumi energetici intorno al 10%. Considerando un investimento iniziale di circa 130.000 € e una tariffa di acquisto per l'energia elettrica pari a 0,112 €/kWh è stata eseguito un calcolo dei risparmi ed una valutazione economica dell'investimento riassunti in Tabella 38 e Tabella 39.

Voce	u.m	Stato di fatto	Post intervento	Risparmio	%
Fabbisogno EE	kWh/anno	3.200.000	2.880.00	320.000	10
Energia primaria	Tep/anno	598	539	60	10
Costo totale EE	€/anno	358.400	322.560	35.840	10

Tabella 38. Calcolo dei risparmi relativi all'installazione di inverter

Periodo di riferimento	T	Anni	10
Tasso di attualizzazione	r	%	0,35
Investimento	I	€	130.000
Risparmio totale stimato	R	€/anno	35.840
Tempo di ritorno semplice	TR	Anni	3,6
Valore annuo netto	VAN	€	221.596
Indice di profitto	IP	-	1,7

Tabella 39. Valutazione economica relativa all'installazione di inverter

7.2.3 Recupero di calore mediante ORC su emissione fumi

L'ultimo caso studio analizzato riguarda un progetto sperimentale che impiega una tecnologia con ciclo Rankine Organico (ORC) su impianti di piccola taglia. Occorre premettere, che trattasi di tecnologia non ancora consolidata e matura su taglie di questa tipologia, e che pertanto presenta costi di installazione ancora rilevanti. Occorre anche considerare che, trattandosi di un progetto sperimentale, non risultano attualmente installati impianti di questo tipo in aziende ceramiche in Italia. Il ciclo Rankine è un ciclo termodinamico chiuso che converte il calore in lavoro utilizzando come fluido di lavoro il vapore acqueo. Il vapore mette in rotazione un turbogeneratore che trasforma l'energia termica in energia meccanica e infine in energia elettrica attraverso un generatore elettrico. Il vapore di scarico fluisce attraverso un rigeneratore per poi essere condensato e raffreddato nel circuito di raffreddamento. Il fluido di lavoro viene quindi pompato nel

rigeneratore e nell'evaporatore, completando così l'operazione a ciclo chiuso. A differenza del ciclo Rankine tradizionale, il ciclo Rankine organico (ORC) utilizza olio termico a temperatura medio-alta, oppure in altri casi direttamente acqua calda, per preriscaldare e vaporizzare un fluido di lavoro organico, caratterizzato da una massa molecolare superiore a quella dell'acqua, che porta a una rotazione più lenta della turbina. La tecnologia ORC trova ormai normale applicazione nel settore industriale su impianti di medio-grande taglia (tipicamente da 1 a 10 MWe); recentemente tuttavia alcuni costruttori stanno proponendo macchine di piccola taglia (da 10 kWe a 100 kWe) caratterizzate da rendimenti, in termini di produzione di energia elettrica rapportata al fabbisogno termico in ingresso, pari al 8-10%. In queste macchine evolvono normalmente refrigeranti fluorurati (di tipo utilizzato anche per cicli frigoriferi, ad esempio R1234ze oppure R245fa). Il caso oggetto di studio prevede la modifica della linea fumi proveniente dal forno con inserimento di un nuovo scambiatore fumi/olio diatermico, in modo da eliminare il ventilatore in controcorrente installato sullo scambiatore fumi/aria esistente per l'immissione di aria ambiente. Viene infine previsto l'inserimento di una nuova linea, con propria pompa di circolazione, per alimentare una macchina ORC in grado di produrre 100 kWe e con un rendimento ipotizzato del 13,5%.

Situazione stato di fatto		
Portata	14.500	Nm ³ /h
Temperatura fumi in uscita dal forno	300	°C
Temperatura fumi in uscita dallo scambiatore esistente	165	°C
Situazione post intervento		
Temperatura fumi in uscita dallo scambiatore nuovo	160	°C
Salto termico recuperato	140	°C
Potenza termica recuperabile	690,2	kWt
Temperatura acqua calda in ingresso ORC	160	°C
Temperatura acqua calda in uscita ORC	90	°C
Potenza elettrica generata	93	kW
Potenza elettrica risparmiata (su ventilatore scambiatore)	15	kW
Ore annue di esercizio	6.000	h/anno
Produzione EE	kWh/anno	648.000

Tabella 40. Dati tecnici pre e post intervento

Considerando un investimento iniziale di circa 370.000 € e una tariffa di acquisto per il gas naturale pari a 0,236 €/Sm³ e per l'energia elettrica pari a 0,112 €/kWh è stata eseguito un calcolo dei risparmi ed una valutazione economica dell'investimento riassunti rispettivamente in Tabella 41 e Tabella 42

Voce	u.m.	Stato di fatto	Post intervento	Risparmio	%
Fabbisogno EE	kWh/anno	4.800.000	4.152.000	648.000	13,5
Energia primaria	Tep/anno	898	776	121	13,5
Costo totale EE	€/anno	537.600	465.024	72.576	13,5

Tabella 41. Calcolo dei risparmi relativi al recupero di calore mediante ORC

Periodo di riferimento	T	Anni	10
Tasso di attualizzazione	r	%	0,35%
Investimento	I	€	370.000
Risparmio Totale Stimato	R	€/anno	72.576
Tempo di ritorno semplice	TR	Anni	5,1
Valore attuale netto	VAN	€	341.983
Indice di profitto (VAN/I)	IP	-	0,92

Tabella 42. Valutazione economica relativa al recupero di calore mediante ORC

8 Conclusioni

Il presente documento è il risultato della collaborazione tra l'ENEA ed il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna. Tale collaborazione nasce all'interno dell'Accordo di Programma che il Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA hanno stipulato nel 2019, finalizzato all'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale. L'accordo di collaborazione tra l'ENEA e il DICAM si riferisce al Piano Annuale di Realizzazione 2019-2021, per quanto attiene il progetto 1.6 "Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali", nello specifico si riferisce al Work Package WP4 "Definizione di best practices e di indicatori di performance per interventi di efficienza energetica"; nello specifico, si riferisce all'obiettivo.

I temi sviluppati nell'ambito della seconda annualità della collaborazione sono finalizzati alla creazione di una mappatura energetica del settore delle piastrelle di ceramica. A tal fine sono state individuate le principali fonti bibliografiche riguardanti i consumi energetici e le emissioni inquinanti del settore delle piastrelle di ceramica. In particolare, l'analisi delle Diagnosi Energetiche e dei database regionali relativi al 2018 ha permesso di individuare un campione costituito da 104 stabilimenti, appartenenti a 69 imprese, che operano nella fabbricazione di piastrelle in ceramica e che sono responsabili di circa l'82% della produzione nazionale. Il 91% degli stabilimenti analizzati è localizzato nella regione Emilia-Romagna data l'alta concentrazione di unità produttive nel distretto reggiano-modenese. La preparazione delle materie prime viene effettuata solo in 48 stabilimenti caratterizzati quindi da un processo produttivo "a ciclo completo" in cui, oltre alle piastrelle ceramiche può essere preparato dell'atomizzato per la vendita a terzi. Oltre a 2 sedi amministrative, i restanti stabilimenti analizzati hanno un processo "a ciclo parziale", caratterizzato da alcune delle fasi ritenute principali. In particolare, 43 stabilimenti non necessitano di una fase di preparazione delle materie prime in quanto l'atomizzato viene acquistato esternamente.

Sulla base dei dati raccolti è stato inoltre definito un assetto impiantistico definito "medio". In particolare, ove possibile, sono state classificate le principali tecnologie e dotazioni impiantistiche attualmente installate. Nella maggior parte dei casi analizzati, sono presenti impianti per la preparazione delle materie prime a umido. Tali impianti sono costituiti essenzialmente da mulini continui e discontinui per la macinazione del materiale e da atomizzatori per la regolazione del contenuto d'acqua. Il processo di formatura più largamente utilizzato per le piastrelle di ceramica è la pressatura, in particolare oltre il 70% degli stabilimenti analizzati presenta un sistema di pressatura tradizionale, costituito da presse idrauliche, mentre il 21% alterna sistemi tradizionali con impianti di pressatura in continuo. Gli essiccatoi maggiormente utilizzati nel comparto delle piastrelle ceramiche sono sia del tipo verticale che orizzontale. Il 67% degli stabilimenti analizzati presenta uno o più forni monostrato mentre il 25% utilizza anche la tecnologia dei forni bicanale. Per quanto riguarda le fasi di smaltatura e di decorazione superficiale, l'indagine condotta non ha potuto definire un impianto "tipo" considerando l'eterogeneità delle tecnologie di applicazione.

L'analisi dei dati energetici ha permesso di definire che la maggior parte del consumo energetico settoriale è ascrivibile all'utilizzo di gas naturale, che copre circa il 70% del consumo complessivo, e che il 40% dell'energia elettrica impiegata viene autoprodotta internamente. Attualmente, nel campione oggetto di analisi, risultano installati 15 impianti fotovoltaici e 28 impianti di cogenerazione, tali cogeneratori effettuano un recupero di energia termica a servizio di uno o più atomizzatori presenti in stabilimento. L'89% del consumo energetico complessivo è attribuito alle attività principali, mentre i servizi ausiliari così come i servizi generali hanno un peso minore. Dall'analisi delle fonti energetiche risulta che il 98% dell'energia termica è imputabile alle attività principali e in particolare ai reparti di cottura, atomizzazione ed essiccazione. Le attività principali sono inoltre responsabili di circa il 69% dei consumi elettrici, mentre la restante quota è coperta per il 24% dai servizi ausiliari e per il 7% dai servizi generali. I reparti di macinazione, pressatura e cottura sono quelli con un'incidenza maggiore nei consumi di energia elettrica, mentre un'altra quota parte deriva dai sistemi di aspirazione e depurazione.

L'elaborazione dei dati contenuti all'interno delle Diagnosi Energetiche e dei database regionali relativi al 2018 ha permesso di costruire una serie di indicatori energetici settoriali ad elevato livello di dettaglio. Il confronto degli Indici di Prestazione Energetici (IPE) ottenuti dalla raccolta dati con quelli reperiti dalla letteratura, da riferimenti normativi o da studi delle associazioni di categoria ha permesso infine di validare i modelli costruiti e di realizzare un'attività di benchmarking interna al settore. A livello generale, non si è evidenziato una differenza significativa rispetto ai dati relativi alla precedente analisi condotta nel 2015. Analizzando più nel dettaglio le rette di regressione, ricavate dall'elaborazione dei consumi in funzione della produzione complessiva e della tipologia di processo produttivo, si evidenzia una variabilità minore nei consumi di gas naturale e una relazione lineare più forte tra gli stabilimenti con un processo produttivo "a ciclo parziale" rispetto a quelli "a ciclo completo". Ciò conferma la maggiore complessità di un processo che oltre ad effettuare una preparazione delle materie prime può sommare anche la preparazione di atomizzato per la vendita a terzi. La maggior parte degli impianti considerati ha un consumo specifico totale di energia inferiore rispetto ai limiti richiesti dalle Linee Guida nazionali per le *Best Available Techniques*. In particolare tali limiti sono raggiunti dall'11% degli stabilimenti con un processo produttivo "a ciclo completo" e dal 42% con processo produttivo "a ciclo parziale" che, oltre al grès porcellanato, producono anche altre tipologie di prodotti (monoporosa, monocottura, bicottura, etc). Anche analizzando i singoli reparti di lavorazione, è emerso che i consumi specifici medi di energia elettrica e di gas naturale rientrano nei limiti richiesti dalle Linee Guida nazionali per le BAT. Ciò è in linea con quanto dichiarato nel suddetto documento, in cui si afferma che l'industria italiana delle piastrelle di ceramica risulta già allineata con le migliori tecniche disponibili descritte. Solo il reparto di essiccazione presenta dei consumi elettrici leggermente superiori rispetto ai valori di riferimento. Ciò è probabilmente dovuto alle diverse tipologie di prodotti, aventi formati e spessori variabili, che possono portare a pause o a vuoti di produzione. Anche la tecnologia di essiccazione potrebbe influire sui consumi elettrici, come evidenziato dall'analisi condotta che ha considerato l'introduzione degli essiccatoi orizzontali a 7 piani, solitamente inseriti in linee dedicate alla produzione di lastre. Rispetto alle altre fonti di riferimento individuate, i consumi specifici dei reparti di atomizzazione, pressatura, essiccazione e cottura risultano superiori ai limiti definiti dal GSE e dalla Banca Dati del 1998. Tuttavia, occorre precisare che tali valori di riferimento sono riferiti alla singola "macchina/apparecchiatura", mentre la schematizzazione proposta da ENEA nella Diagnosi Energetica prevede l'individuazione del consumo per reparto (o comunque insieme macchina + suoi ausiliari). Per quanto riguarda il reparto di pressatura sono state effettuate alcune considerazioni in merito alla tecnologia della pressatura in continuo. Da una prima analisi sembrerebbe che la tecnologia continua permetta, a parità di produzione, un vantaggio in termini di risparmio energetico. L'analisi inoltre ha evidenziato un'importante variabilità dei consumi nei reparti di smaltatura, lavorazioni meccaniche e di scelta e confezionamento in quanto fortemente dipendenti dalla composizione delle linee, dalla tecnologia adottata e dal ciclo di lavorazioni a cui è sottoposto il prodotto finito. Per questi reparti non sono stati individuati dei valori di riferimento, in quanto non riportati nelle fonti analizzate.

L'analisi condotta ha messo in evidenza che i consumi di sito sono influenzati da diverse variabili di processo (tipologia e durezza delle materie prime, umidità e temperatura della barbotina, etc) in funzione delle quali le fasi risultano più o meno energivore. La variabilità dei consumi è sicuramente legata oltre che alla tipologia di prodotto anche ad altri fattori quali lo spessore e il formato del prodotto finale. Possono inoltre sussistere variabili gestionali dipendenti ad esempio da un riempimento ottimale o da un corretto utilizzo operativo delle macchine di processo. Anche le effettive condizioni di funzionamento delle macchine (presenza di n° di vuoti o pause nei cicli di produzione) possono comportare inefficienze dal punto di vista dei consumi, così come la presenza di impianti datati. Ad oggi, l'analisi delle Diagnosi Energetiche e dei dati di dettaglio richiesti alle aziende, ancora in fase di raccolta, non ha permesso di identificare ulteriori variabili di processo e il loro grado di copertura nei sistemi di monitoraggio/SGE. L'analisi delle Diagnosi Energetiche ha permesso invece di evidenziare che, attualmente, viene monitorato circa il 64% dei consumi di energia elettrica e l'80% di gas naturale.

A completamento dell'analisi condotta sono state individuate e promosse le strategie e le relative misure di implementazione delle migliori tecniche di efficienza energetica disponibili per il settore produttivo delle

piastrelle di ceramica. A tal fine è stato fornito un elenco il più completo possibile delle soluzioni tecnologiche che, allo stato dell'arte, potrebbero essere considerate per l'efficientamento energetico. In particolare sono state classificate le principali soluzioni tecnologiche presenti oggi sul mercato per l'efficientamento di ogni reparto produttivo, nonché degli impianti ausiliari. Sono inoltre stati presentati tre casi studio rappresentativi del settore e relativi ad interventi per l'efficientamento energetico. In particolare, tali interventi riguardano l'installazione di inverter sui sistemi di ventilazione di un essiccatoio e due recuperi di calore, sfruttando l'aria di raffreddamento del forno o una tecnologia con ciclo Rankine Organico (ORC). Al fine di definire i benefici attesi dall'implementazione delle strategie di efficientamento energetico è stato effettuato, dove possibile, un calcolo dei risparmi ed una valutazione economica degli investimenti. I recuperi ottenibili, sfruttando l'aria di raffreddamento a beneficio del processo di essiccazione, possono variare dall'8%, nel caso di utilizzo come aria di sola diluizione, fino al 20%, nel caso di utilizzo combinato come aria di diluizione e combustione. Il risparmio elettrico ottenibile mediante l'installazione di inverter, nel sistema di ricircolo aria di n.4 essiccatoi, è stato stimato intorno al 10%. L'ultimo caso studio analizza una tecnologia ORC sul sistema di emissione fumi del forno. Tale tecnologia, ad oggi non ancora consolidata e matura, è in grado di produrre circa 100 kWe con un rendimento ipotizzato del 13,5%.

9 Comunicazione e diffusione dei risultati

In ambito nazionale e internazionale, le azioni di comunicazione e diffusione dei risultati sono state effettuate lungo due linee principali di attività:

Pubblicazione di articoli su riviste specializzate:

- Febbraio 2021: M.C. Bignozzi, B. Ferrari, B. Mazzanti, L. Branchini, A. Canetti. "La cogenerazione nel settore ceramico, un esempio green". Energia, Ambiente e Innovazione – ENEA.
- Aprile 2021: L. Branchini, M. C. Bignozzi, B. Ferrari, B. Mazzanti, S. Ottaviano, M. Salvio, C. Toro, F. Martini, A. Canetti. "Cogeneration Supporting the Energy Transition in the Italian Ceramic Tile Industry". Sustainability MDPI.

Partecipazione a eventi, seminari e convegni specifici e generali sulle attività di progetto:

- Maggio 2021: "Efficientamento energetico e cogenerazione nel settore ceramico" in occasione dei Pomeriggi di Formazione e Ricerca organizzati dal Centro Ceramico.
- Luglio 2021: "Stoccaggio della CO₂ e cogenerazione: quali opportunità nel settore ceramico in vista degli obiettivi Europei" in occasione dell'evento All for Tiles 2021.
- Dicembre 2021: "Indicatori di prestazione energetica e valutazione di strategie d'intervento per il settore produttivo delle piastrelle di ceramica" in occasione del seminario organizzato da ENEA "Efficienza Energetica dei prodotti e dei processi industriali".

10 Curriculum del gruppo di lavoro

Il gruppo di lavoro che ha partecipato alla presente ricerca è composto da:

Benedetta Ferrari, Ricercatrice presso il Centro Ceramico di Bologna. Laureata in Ingegneria Edile-Architettura presso l'Università di Bologna a marzo 2020. Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento DICAM dell'Università di Bologna da Settembre 2020 ad Agosto 2021, ha partecipato all'implementazione di un database OpenBIM per la valorizzazione dei materiali ceramici in ambiente BIM (*Building Information Modeling*). La sua attività di ricerca è rivolta allo studio dei materiali ceramici e all'efficientamento energetico dei loro processi produttivi. Da Settembre 2021 collabora con il Centro Ceramico di Bologna, centro di ricerca e di sperimentazione per i materiali ceramici.

Barbara Mazzanti, Responsabile della Sezione Energia e Processi del Centro Ceramico e ricercatrice Senior della Sezione Ceramiche Tecniche Avanzate del Centro Ceramico, svolge attività di ricerca soprattutto nel campo delle piastrelle di ceramica per quanto riguarda caratterizzazione e funzionalizzazione del prodotto finito. Svolge azione di supporto tecnico all'interno della Commissione Energia di Confindustria Ceramica nonché in Gruppi di Lavoro sulla digitalizzazione dei prodotti ceramici in BIM.

Maria Chiara Bignozzi, Professore Associato di Scienza e Tecnologia dei Materiali (ING/IND22) presso l'Università di Bologna (<https://www.unibo.it/sitoweb/maria.bignozzi>), svolge attività di ricerca nel settore dei materiali da costruzione tradizionali e dei materiali innovativi sostenibili. Dal 2015 è direttore del Centro Ceramico (www.centroceramico.it), consorzio universitario di cui fanno parte l'Università di Bologna, Confindustria Ceramica e Lega Coop Produzione e Servizi. Autrice di oltre 135 pubblicazioni scientifiche indicizzate su Scopus.

Alberto Fregni, Ricercatore di Scienza e Tecnologia dei Materiali (ING/IND22) presso l'Università di Bologna (<https://www.unibo.it/sitoweb/a.fregni>), svolge attività di ricerca prevalentemente nel settore dei materiali da costruzione tradizionali con particolare attenzione alle cause del loro degrado ed all'utilizzo nella produzione dei materiali da costruzione di materie prime di riciclo.

Lisa Branchini, Ricercatrice Senior di Sistemi per l'Energia e l'Ambiente (ING/IND09), svolge attività di ricerca – sia analitica che sperimentale – nel settore dei sistemi micro-cogenerativi innovativi oltre che nel campo dell'integrazione tra generatori rinnovabili e dispositivi di accumulo dell'energia elettrica e termica. Autrice di oltre 50 pubblicazioni scientifiche, prevalentemente su riviste e congressi internazionali.

Francesco Melino, Professore Associato di Macchine a Fluido (ING/IND08) responsabile del Laboratorio di Microreti di Generazione ed Accumulo dell'Università di Bologna, Vicedirettore del Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale su Fonti Rinnovabili, Ambiente, Mare ed Energia (CIRI-FRAME) dell'Università di Bologna e Chair dell'Industrial & Cogeneration Committee dell'American Society of Mechanical Engineering (ASME). Autore di oltre cento pubblicazioni scientifiche prevalentemente su riviste e congressi internazionali, svolge attività di ricerca sui temi delle reti complesse di trasporto dell'energia elettrica, termica frigorifera e del combustibile.

Andrea De Pascale, Professore Associato di Macchine a Fluido (ING/IND08), responsabile del Laboratorio di Tecnologie di Micro-Generazione del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Bologna. Vice Direttore del Corso di Dottorato In Meccanica e Scienze Avanzate dell'Ingegneria. Autore di oltre 100 pubblicazioni scientifiche, prevalentemente su riviste e congressi internazionali, svolge attività di ricerca sui temi del recupero energetico di cascami termici a bassa entalpia.

11 Riferimenti bibliografici

1. *Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings*. Economidou, M., et al. 225, 2020, Energy & Buildings.
2. Confindustria Ceramica. Indagine statistica sull'industria italiana delle piastrelle di ceramica. [Online] 2019. [Riportato: 21 ottobre 2021.] <http://www.confindustriaceramica.it/site/home/bookstore/studi-di-settore/indagine-statistica-sullindustria-italiana---piastrelle-di-ceramica.html>.
3. *Produzione e consumo mondiale di piastrelle di ceramica*. L., Baraldi. 138, 2020, Ceramic World Review, p. 40-54.
4. *Assopiastrelle. Come e perchè: le piastrelle di ceramica italiane, guida all'aquisto, guida all'impiego*. [a cura di] Palmonari C. Timellini G. 2002.
5. Centro Ceramico, ENEA. *I consumi energetici nella produzione delle piastrelle ceramiche*. [a cura di] Timellini G., Evangelisti R. Maroncelli M. 1985.
6. —. *La granulazione nell'industria delle piastrelle di ceramica*. [a cura di] Tenaglia A., Timellini G. Nasseti G. 1987.
7. *Cogeneration supporting the energy transition in the italian ceramic tile industry*. Branchini, L., et al. 2021, MDPI Sustainability.
8. *Energy saving in ceramic tile kilns: Cooling gas heat recovery*. Mezquita, A., et al. 65, 2014, Applied Thermal Engineering, p. 102-110.
9. Glazetile. [Online] [Riportato: 19 ottobre 2021.] www.glazetile.eu.
10. Assopiastrelle, SNAM. *Piastrelle ceramiche e energia: banca dati delle piastrelle di ceramica*. [a cura di] Ferrari A., Fregni A., Maestri G. Nasseti G. 1998.
11. Assopiastrelle. *S_tiles: italian tiles towards sustainability*. 2005.
12. —. *Piastrelle ceramiche e ambiente*. [a cura di] Palmonari C., Timellini G. Busani G. s.l. : EDI.CER S.p.a., 1995.
13. D.M. 29 gennaio 2007. *Emanazione di linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili, in materia di fabbricazione di vetro, fritte vetrose e prodotti ceramici, per le attività elencate nell'allegato I del D.Lgs. 59/05*.
14. *Sustainability in Italian Ceramic Tile Production: Evaluation of the Environmental Impact*. Boschi, G., et al. s.l. : MDPI, 2020.
15. Confindustria Ceramica, Centro Ceramico. *Rapporto 2010-2019: Industrie produttrici di piastrelle di ceramica - fattori di impatto e prestazioni ambientali*. 2021.
16. Confindustria Ceramica. Consumi Energetici. [Online] [Riportato: 20 Dicembre 2021.] <http://www.confindustriaceramica.it/site/home/aree-e-servizi/energia/consumi-energetici.html>.
17. GSE - Gestore dei Servizi Energetici. *Guida Operativa per l'emissione dei Certificati Bianchi - Allegato 2.1: Guide settoriali: il settore industriale della produzione di piastrelle ceramiche*. 2019.
18. EU-MERCI. The EU-MERCI project. [Online] [Riportato: 21 Ottobre 2021.] <http://www.eumerciportal.eu/web/guest/library/tutorial?sector=26231>.
19. *Tecnologie SACMI per la sostenibilità dei processi ceramici*. Ricci, C. 142, Luglio/Agosto 2021, Ceramic World Review, p. 56-59.
20. *Energy saving technologies in the European ceramic sector: A systematic review*. Agrafiotis, C. e Tsoutsos, T. 2001, Applied Thermal Engineering, Vol. 21, p. 1231-1249.
21. *Improving the sustainability of ceramic tile-making by mixing spray-dried and dry-granulated powders*. Soldati, R., et al. 2021, Boletin De La Sociedad Espanola De Ceramica Y Vidrio.
22. *Migratech Hybrid, la microgranulazione verde di LB*. Battaglioli, L. 142, Luglio/Agosto 2021, Ceramic World Review, p. 64-66.
23. *Review on energy efficiency progresses, technologies and strategies in the ceramic sector focusing on waste heat recovery*. Oliveira, M. C., et al. 2020, Energy MDPI.
24. *Energy, exergy and sustainability assessments of a cogeneration system for ceramic industry*. Caglayan, H. e Caliskan, H. 2018, Applied Thermal Engineering, Vol. 136, p. 504-515.
25. *Double pressing for porcelain stoneware tiles: an exploratory analysis*. Gamberini, R. e Regattieri, A. 2008, Industrial Management & Data Systems, Vol. 108, p. 1081-1100.

26. European Commission. Reference document on best available techniques in the ceramic manufacturing industry. [Online] 2007. [Riportato: 30 Settembre 2021.] <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference>.
27. *Esempi di efficientamento energetico negli impianti ceramici*. Orlandi, S. 142, Luglio/Agosto 2021, Ceramic World Review, p. 60-63.
28. *Experimental study of an ORC (Organic Rankine Cycle) for low grade waste heat recovery in a ceramic industry*. Peris, B., et al. 85, 2015, Energy, p. 534-542.
29. Monteiro, H., et al. Technical and economical assessment of waste heat recovery on a ceramic industry. *Wastes: Solutions, treatments and opportunities III. In proceedings of the 5th international conference wastes*. Lisbon, Portugal : s.n., 2019, p. 524-530.

12 Abbreviazioni ed acronimi

ACRONIMI

EE	Energia elettrica
GN	Gas naturale
IPE	Indice di Prestazione Energetico
TEP	Tonnellata Equivalente di Petrolio
ATM	Atomizzato
BARB	Barbottina
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
BAT	Best Available Techniques
BRefs	BAT Reference documents
GSE	Gestore dei Servizi Energetici
AIA	Autorizzazione Integrata Ambientale
ORC	Organic Rankine Cycle
TEE	Titoli di Efficienza Energetica
PCI	Potere Calorifico Inferiore

SIMBOLI

IPE_g	è l'indice di prestazione energetico generale
$IPE_{g,EE}$	è il consumo specifico di energia elettrica riferito alla produzione finale [kWh/t]
$IPE_{g,GN}$	è il consumo specifico di gas naturale riferito alla produzione finale [Sm ³ /t]
$IPE_{g,TOT}$	è il consumo specifico totale di energia riferito alla produzione finale [GJ/t]
IPE_s	è l'indice di prestazione energetico specifico
$IPE_{s,EE}$	è il consumo specifico di energia elettrica riferito alla produzione specifica di reparto [kWh/t]
$IPE_{s,GN}$	è il consumo specifico di gas naturale riferito alla produzione specifica di reparto [Sm ³ /t]

EE_{rete}	è l'energia elettrica prelevata da rete [kWh/t]
$EE_{autoprod}$	è l'energia elettrica autoprodotta e auto consumata internamente [kWh/t]
GN_{rete}	è il gas naturale prelevato da rete [Sm^3/t]
GN_{cogen}	è il gas naturale utilizzato nell'impianto di cogenerazione [Sm^3/t]
GN_{atm}	è la quota parte di gas naturale utilizzato nell'impianto di cogenerazione destinato all'atomizzatore [Sm^3/t]
$EE_{att,p}$	è l'energia elettrica impiegata nelle attività principali [kWh/t]
$GN_{att,p}$	è il gas naturale impiegato nelle attività principali [Sm^3/t]
$EE_{i,att,p}$	è l'energia elettrica impiegata nell'i-esimo reparto delle attività principali [kWh/t]
$GN_{i,att,p}$	è il gas naturale impiegato nell'i-esimo reparto delle attività principali [Sm^3/t]
$P_{piastrelle}$	è la produzione di piastrelle versate a magazzino [t]
P_{atm}	è la produzione di atomizzato venduto a terzi [t]
$P_{i,att,p}$	è la produzione specifica dell'i-esimo reparto delle attività principali [t]
V_j	è il vettore energetico j-esimo
c_p	è il calore specifico dell'unità di volume del fluido [$kcal/Nm^3^{\circ}C$]
T	è il periodo di riferimento [anni]
r	è il tasso di attualizzazione [%]
I	è il costo dell'investimento [€]
R	è il risparmio totale stimato [€/anno]
TR	è il tempo di ritorno semplice [anni]
VAN	è il valore annuo netto [€]