



POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE

D.R.I.N.C. BEER

DESIGNING AND RECYCLING: AN INNOVATIVE NEW CONCRETE
MADE WITH BEER

SVILUPPO DI UN INTONACO TERMICO DA
RIFIUTI AGRO-INDUSTRIALI

RELATORE
ROBERTO GIORDANO

CORRELATORE
DENIS FARUKU

CANDIDATA
STEFANIA RICCIO

ANNO ACCADEMICO 2020/2021

COLLABORAZIONI

LASTIN, Laboratorio Sistemi Tecnologici Innovativi, Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino.

DENERG, Dipartimento ENERGIA "Galileo Ferraris", Politecnico di Torino.

Arch. Corrado Carbonaro, responsabile tecnico del LASTIN. Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino.

Arch. Angela Lacirignola, responsabile tecnico del LASTIN. Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino.

Arch. Stefano Fantucci, ricercatore del Dipartimento Energia. Politecnico di Torino.

Birrificio del Monsignore, San Vitaliano (NA)

Birrificio Artigianale Incanto, Casalnuovo di Napoli (NA)

Birrificio Agricolo Kauss, Piasco (CN)

INDICE

INDICE 4

INTRODUZIONE 9

I.LA PRODUZIONE DI BIRRA 15

I.1 IL COMPARTO BRASSICOLO IN ITALIA	18
I.1.1 CLASSIFICAZIONE DEI BIRRIFICI	22
I.2 GLI INGREDIENTI BASE: MALTO, LUPPOLO, ACQUA E LIEVITO	24
I.3 IL PROCESSO DI BIRRIFICAZIONE	29
I.4 GLI SCARTI DEL PROCESSO PRODUTTIVO	32
I.5 QUADRO NORMATIVO RIGUARDANTE LE TREBBIE DI BIRRA	36

2.1 RIUSI REALI E POTENZIALI DELLE TREBBIE DI BIRRA 44

2.1 ESEMPI DI VALORIZZAZIONE DELLE TREBBIE DI BIRRA	47
2.2 BIRRIFICIO WILDWOOD, BIRRIFICIO TUNWENI SORGGHUM: ESEMPI DI RECUPERO GLOBALE NELL'AZIENDA BRASSICOLA	50
2.3 FONDAZIONE ZERI: DALLE TREBBIE AL PANE E AL SUBSTRATO PER LA CRESCITA DEI FUNGHI	53
2.4 ENTE CREA: DALLE TREBBIE AL BIOCHAR E AL PELLET	55
2.5 SCHOOL OF CHEMISTRY DI BELFAST: DALLE TREBBIE AL CARBONE ATTIVO	59
2.6 POLYTECHNIC INSTITUTE DI TOMAR: DALLE TREBBIE AI MATTONI BIO	61

3.DALLE TREBBIE DI BIRRA A D.R.I.N.C. BEER 64

3.1 REQUISITI GENERALI DELLA MALTA D.R.I.N.C. BEER.	67
3.2 LE MATERIE PRIME UTILIZZATE	71
3.2.1 CEMENTO PROMPT	72
3.2.2 CALCE AEREA E IDRAULICA	74
3.2.3 SABBIA SILICEA	75
3.2.4 PERLITE ESPANSA	76
3.2.5 PAGLIA DI RISO	78
3.3 LA MATERIA PRIMA SECONDA: LE TREBBIE DI BIRRA.	80
3.4 I MIX DESIGN DELLA MALTA	89
3.4.1 LE CAMPAGNE SPERIMENTALI	91
3.4.2 RISULTATI DELLE SERIE	101

4.LE VERIFICHE PRESTAZIONALI SU D.R.I.N.C. BEER 102

4.1 ANALISI SULLA MALTA FRESCA	105
4.2 ANALISI SULLA MALTA INDURITA	112
4.3 CONSIDERAZIONI FINALI	132

5.LE PROSPETTIVE DI SVILUPPO DI UNA FILIERA CIRCOLARE 134

5.1 LA CRESCITA DEI BIRRIFICI IN CAMPANIA	137
5.2 LA FILIERA BRASSICOLA IN CAMPANIA	139
5.3 UN IPOTETICO SCENARIO DI FILIERA	143

CONCLUSIONI 148

BIBLIOGRAFIA 153



FIRST DRINK IT THEN BUILD IT



INTRODUZIONE

Il settore edile è uno dei comparti a più alto impatto ambientale per consumo del territorio, di energia, emissioni in atmosfera e per consumo di materie prime.

Temi come l'approvvigionamento sostenibile di materie prime e lo sviluppo dei mercati delle materie prime secondarie sono di fondamentale importanza per il passaggio da un'economia lineare a una circolare. Secondo il rapporto "Global material flows and resource productivity" [1], l'uso globale dei materiali è triplicato negli ultimi 40 anni passando dai 26.7 miliardi di tonnellate del 1970 ai 84.4 miliardi di tonnellate nel 2015. In linea con il programma delle Nazioni Unite, che vede 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) da raggiungere entro i prossimi 15 anni, esso fornisce un resoconto dell'uso di materie prime nel mondo, sottolineando che l'utilizzo delle stesse potrebbe triplicare entro il 2050 arrivando ai 180 miliardi di tonnellate di consumo ogni giorno. Questo dato viene evidenziato dalla "Raw Materials Initiative" [2], adottata dalla Commissione Europea per gestire le difficoltà che l'economia industriale europea ha nella reperibilità delle materie prime critiche (CRM). Il nostro Paese, come secondo Paese manifatturiero in Europa, è subordinato al mercato estero per l'approvvigionamento di materie prime, il cui costo continuerà sempre a crescere, diminuendo, dall'altra parte la reperibilità. Questa strategia europea si basa su tre pilastri fondamentali [3] ovvero: la garanzia di accesso alla materie prime nei mercati internazionali a pari condizioni, l'approvvigionamento sostenibile dai mercati globali all'interno dell'Unione Europea, e una maggiore fornitura di materie prime secondarie attraverso il riciclaggio. Considerando in particolare quest'ultimo principio, l'economia circolare si inserisce nella visione comune trasformando il concetto di rifiuto in quello di risorsa. Con questo modello si intende ottenere una massimizzazione del riciclo con un'alta percentuale di eliminazione dei rifiuti e creare un sistema industriale in cui lo scarto di un ciclo produttivo diventa utile a un altro, sostituendo il concetto di fine vita con quello di C2C – Cradle to Cradle (dalla culla alla culla). [A. Pellezzari, 2017]

Si tratta di adottare un cambiamento di prospettiva per ridisegnare il modo in cui funziona la nostra economia, progettando prodotti che possono essere “fatti per essere riutilizzati di nuovo”, alimentando il sistema con energia rinnovabile. In un'economia circolare, l'attività economica costruisce e ricostruisce la salute generale del sistema. Un concetto che attribuisce una valenza fondamentale all'economia e le permette di funzionare in modo efficace in tutte le scale: per le grandi e piccole imprese, per le organizzazioni e gli individui, a livello globale e locale. La transizione verso un'economia circolare rappresenta un cambiamento sistemico che crea resilienza a lungo termine, genera opportunità economiche e commerciali, e fornisce vantaggi ambientali e sociali. È un modello di produzione e consumo che prevede la condivisione, la locazione, il riutilizzo, la riparazione, la ristrutturazione e il riciclaggio di materiali e prodotti. In questo modo si allunga il ciclo di vita dei materiali riducendo al minimo gli sprechi, perché quando un prodotto raggiunge la fine della sua vita, i suoi componenti vengono reintrodotti nel mercato, ove possibile. In questo modo i materiali possono essere utilizzati in modo produttivo ancora e ancora, creando così un valore aggiuntivo.

I motivi sopra descritti, hanno generato una costante crescita della ricerca scientifica verso lo sviluppo di materiali da costruzione che siano più sostenibili e rispettosi dell'ambiente ma anche più convenienti economicamente, senza compromettere la qualità nella composizione strutturale degli edifici. Affidarsi a sottoprodotti agro-industriali per sviluppare materiali da costruzione, facilita la riduzione dell'inquinamento nel settore edile e aiuta anche ad affrontare la sfida dello smaltimento dei rifiuti [C. Maraveas, 2020]. Si sta investendo molto soprattutto nella ricerca di materie prime seconde in sostituzione degli ingredienti usati tradizionalmente negli impasti cementizi. Uno degli obiettivi perseguiti è quello di consentire alle aziende, produttrici di

grandi quantità di scarti, di identificare possibili sinergie con altri settori e allineare le loro esigenze alla sostenibilità ambientale, ecco perché la ricerca si è orientata verso l'analisi di residui agro-alimentari e agro-industriali.

In questo ambito si inserisce il progetto D.R.I.N.C. Beer (Designing and Recycling: an Innovative New Concrete made with Beer), che fa parte di un insieme di sperimentazioni volte a promuovere la transizione da rifiuto a risorsa dei sottoprodotti agro-industriali nel settore delle costruzioni, dal titolo “ALL YOU CAN'T EAT” [R. Giordano, 2020].

L'obiettivo principale di D.R.I.N.C. Beer è quello di promuovere un approccio alternativo per sviluppare materiali da costruzione sostenibili; l'attenzione, in particolare, è rivolta agli intonaci tradizionali il cui uso continuato ha un impatto negativo sull'ambiente. Si pensi che per produrre una tonnellata di cemento si rilasciano 0,51 t di emissioni dirette di biossido di carbonio [R. Giordano, 2010].

L'industria dei birrifici artigianali e industriali è un mercato cresciuto in maniera importante negli ultimi anni: dal 2008 a oggi si è registrato un aumento considerevole dei consumi che ha portato oggi l'Italia al 9° posto in Europa per volume di produzione e al 5° posto per numero di birrifici [4].

La stesura dei cinque capitoli che compongono la tesi è organizzata in base alla sequenza temporale delle attività svolte per il confezionamento di D.R.I.N.C. Beer (FIGURA_1).

Il primo capitolo è orientato allo studio dell'andamento di crescita del settore brassicolo in Italia, per poi analizzare le materie prime, i processi di produzione e infine caratteristiche e quantità dei sottoprodotti generati.

Quello che rende questo settore interessante per la nostra ricerca, oltre la costante crescita, è che i residui rappresentano il 92% delle materie prime utilizzate, di questi circa l'85% è rappresentato dalle trebbie di birra. Per questo motivo il focus è orientato su questo sottoprodotto che rappresenta la parte

esausta, liberata dai nutrienti, del malto d'orzo, uscente dalla fase di filtrazione del mosto, passaggio intermedio del processo produttivo. Ne consegue un approfondimento sulle quantità e sulle proprietà del residuo.

Dato rilevante è la quantità di trebbie di birra prodotte: 100 l di birra corrispondono a circa 20 kg di trebbie umide; solo in Italia se ne producono quasi 200mila tonnellate l'anno, di cui solo il 30% viene riutilizzato [Assobirra, 2019].

Le trebbie di birra uscite dal processo brassicolo con umidità tra il 70%-85% e ricche di sostanze, sono un residuo instabile e facilmente deteriorabile dall'attività microbica, per questo i birrifici tendono a disfarsene immediatamente dopo il processo, e comunque non oltre i 7 giorni. Per evitare fenomeni di marcescenza è quindi necessario essiccare il prodotto per riutilizzarlo in un nuovo ciclo produttivo.

Tutto ciò induce i birrifici a destinare gratuitamente questo scarto per lo più al mondo zootecnico, come mangime per ruminanti, suini e volatili, da somministrare in piccole percentuali vista la poca digeribilità della sostanza. Poiché spesso la produzione supera la domanda, le industrie sono costrette a smaltirle come rifiuto speciale.

La seconda fase di ricerca è stata fondamentale per indirizzare l'attenzione verso un materiale edile in particolare, partendo dalle sperimentazioni avviate.

I birrifici che tendono ad avvicinarsi al mondo dell'economia circolare hanno sperimentato l'utilizzo delle trebbie in impasti di farinacei: è stata infatti valutata la produzione di pane, biscotti e snack con un misto di farina da cucina e percentuali pari al 5/10% da farina di trebbie di birra [S.I. Mussatto, 2006]. Altri studi vedono il sottoprodotto riutilizzato come pellet per uso energetico o biochar come ammendante per uso agricolo [G. Sperandio, 2017], come materia prima per il confezionamento di mattoni [E. Ferraz, 2013], carbone attivo per la bonifica delle acque [A. Osman, 2019] o substrato per la coltivazione di funghi [G. Pauli, 2015].

Nonostante tutte le possibili applicazioni che vengono

descritte, il riutilizzo è ancora limitato. Il basso valore di mercato (3,00/5,00 euro/tonnellata) rende questo sottoprodotto interessante come materia prima secondaria utilizzabile per la produzione di beni ad alto valore aggiunto. Ricercare e sperimentare nuovi usi per le trebbie significa ampliare questa e altre filiere industriali, sia nell'ottica ambientale che di competizione economica.

L'obiettivo della ricerca è duplice: da un lato è diretto a implementare il catalogo dei materiali che inglobano sottoprodotti agro-industriali come materie prime seconde; dall'altro è il riutilizzo delle trebbie attraverso l'applicazione di un upcycling, ovvero il riciclaggio ad alto contenuto prestazionale. Un nuovo utilizzo per attribuire un valore aggiunto al sottoprodotto: un valore maggiore e non minore rispetto a quello che aveva in precedenza. Lo sviluppo e l'applicazione di materiali a base biologica può contribuire a minimizzare gli impatti ambientali degli edifici riducendo la domanda energetica sia durante la costruzione che durante l'utilizzo. I residui agro-industriali possono avere un ruolo interessante perché il loro ri-utilizzo consente la rivalutazione degli stessi, risolvendo contemporaneamente il problema del loro smaltimento.

Partendo da questi presupposti è stato necessario il recupero di campioni di trebbie di birra umide e la successiva fase di essiccazione. L'attività descritta nel terzo capitolo, in collaborazione con il LASTIN, attraverso l'analisi delle caratteristiche fisiche del sottoprodotto e il suo comportamento in un impasto cementizio leggero. La campagna sperimentale ha comportato il confezionamento di trentuno miscele, divisibili in sei serie per caratteristiche, fino alla generazione di due provini coesi. Sono state determinate le percentuali in peso delle materie prime e delle materie prime seconde al fine di ottenere una buona lavorabilità e una buona coesione a essiccazione ultimata, tentando di spingere la percentuale del sottoprodotto al valore più alto ammissibile. Nel capitolo successivo i due impasti di D.R.I.N.C. Beer sono stati

testati per valutarne la conformità agli standard normativi concernenti gli intonaci a elevate prestazioni termiche. Viene evidenziata la metodologia utilizzata per le analisi sull'intonaco fresco e indurito, e descritti i risultati ottenuti. Nell'ultimo capitolo, infine, viene analizzata la filiera attuale dello smaltimento delle trebbie di birra nel territorio campano, per capire l'effettiva disponibilità annua di sottoprodotto al fine della valutazione di una fattibilità economica e logistica di un nuovo ciclo produttivo. Viene elaborato uno scenario per il riuso delle trebbie di birra nell'industria edile, in cui viene garantita una continuità nell'approvvigionamento della filiera grazie all'ipotesi di una figura imprenditoriale che ne gestisce lo stoccaggio, il trattamento e la rivendita come aggregato naturale.



FIGURA_1 Sinossi della tesi

NOTE

- [1] <https://www.unep.org/resources/report/global-material-flows-and-resource-productivity-assessment-report-unep>
- [2] https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en
- [3] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52008DC0699>
- [4] https://brewersofeurope.org/site/media-centre/index.php?doc_id=986&class_id=31&detail=true



LA PRODUZIONE DI BIRRA

Questo capitolo introduce una panoramica sul mercato della birra che comprende tutte le fasi del processo di birrificazione, dalla scelta delle materie prime alla distribuzione del prodotto. Viene analizzato, in particolare, il mercato italiano partendo dall'assimilazione dei numeri di produzione mondiale. Secondo il rapporto del The Business Research Company 2021, nel periodo storico 2015/2020 il mercato globale della birra ha toccato un valore di \$ 189 miliardi, destinato a raggiungere, nel periodo di previsione 2025/2030, \$ 370 miliardi con una crescita a un CAGR [1] del 5,7%. La previsione di crescita, secondo il rapporto, sarà principalmente dovuta alla riorganizzazione forzata della filiera attuata dalle aziende dopo un arresto del settore dovuto al primo lockdown da COVID-19. Nel 2019 la produzione mondiale ha concretizzato 1.913 milioni di hl [BarthHaas, 2020] registrando un aumento dello 0,5% rispetto al 2018; l'Europa si posiziona al terzo posto per volume di produzione dopo America e Asia.



I.1 IL COMPARTO BRASSICOLO IN ITALIA

La birra italiana, negli anni, ha saputo farsi spazio tra gli storici leader europei in questo settore: Germania, Regno Unito, Polonia e Paesi Bassi. È noto come nell'immaginario comune sia da sempre radicata una sorta di geografia storica del bere che vede la birra predominare l'Europa settentrionale e il vino quella meridionale [M. Nelson, 2014].

Alcune testimonianze scritte parlano di produttori specializzati in Gran Bretagna e in Germania già nel I secolo d.C. mentre una produzione brassicola italiana inizia a svilupparsi solo tra gli anni '80 e '90. Fino a metà '800, infatti, la produzione di birra era circoscritta a pochi laboratori locali con produzione discontinua; il consumo, invece, era limitato a un numero esiguo di appassionati. Successivamente, un graduale cambiamento dei consumatori riguardo gli alcolici, l'affermarsi sempre maggiore del Made in Italy, il fiorire dell'economia e dell'industria con la rivoluzione industriale, il generale cambiamento nella cultura del consumo verso nuovi prodotti, coinvolsero anche il settore della birra.

Alla fine dell'Ottocento il territorio italiano contava circa 140 birrifici con una

capacità produttiva stimata pari a 160.000 hl. Nel 1925 la produzione raggiunge 1.569.000 hl e i consumi procapite i tre litri e mezzo. In questo periodo, il forte incremento, probabilmente, è da attribuire all'affermarsi delle prime realtà industriali sul territorio: la Wührer di Brescia, la Dreher di Trieste, la Paskowski di Firenze e Roma, le Birrerie Meridionali di Napoli di proprietà della famiglia Peroni, la Pedavena di Belluno, la Poretto di Induno Olona, la Moretti di Udine, la Wunster di Bergamo [Enciclopedia della birra, 2021]. Questi hanno perseguito strategie di crescita attraverso fusioni e acquisizioni di stabilimenti minori. Oltre alle grandi realtà imprenditoriali, vediamo la nascita di piccole e medie industrie che perseguono strategie volte alla differenziazione del prodotto. La reinterpretazione della birra tradizionale proposta dai mastri birrai italiani, l'aggiunta di prodotti locali all'interno delle ricette, la creatività nazionale nel pubblicizzarsi hanno contribuito all'affermarsi dei produttori italiani nel panorama internazionale.

A livello locale, anno dopo anno, il settore ha attirato l'attenzione dei consumatori attraverso l'attenzione posta alla storia del prodotto e agli ingredienti utilizzati. Così i consumatori iniziano a organizzarsi in associazioni culturali locali e i produttori, nel 1997, fondano Unionbirrai, associazione per creare collaborazione e organizzare eventi atti alla promozione

della birra italiana, ponendo, così, le basi dell'industria della birra italiana. Anche i cambiamenti nella legislazione italiana sono stati cruciali per lo sviluppo della birra autoctona. Due significative modifiche alle leggi italiane hanno aiutato i produttori italiani di birra. Nel 1992 [2] è stata modificata la normativa fiscale sulla birra introducendo un nuovo metodo di tassazione semplice sul prodotto finito. Nel 1995 il Decreto Legislativo n. 504 [3] ha introdotto metodi più semplici di controllo della produzione. [C. Gravaglia, 2018].

Tralasciando le due più grandi battute d'arresto della produzione, dovute alla Prima e alla Seconda Guerra Mondiale, il settore ha contato una graduale ma

a tratti stazionaria ascesa fino al 2009, anno in cui la produzione raggiunge i 12,7 milioni di ettolitri [Assobirra, 2019]. Come è visionabile nella Tabella 1, il decennio 2009/2019 è stato molto prolifico per l'industria brassicola italiana chiudendo con un incremento in dieci anni del +27,6% [Assobirra, 2019]. Assobirra [4] prende come riferimento il 2009 come anno della Grande recessione dell'economia mondiale, in cui il commercio mondiale fatica ad affermarsi ma che invece per il settore brassicolo segna un anno di svolta. Il 2019, se confrontato con il 2018, vede un +5% in produzione, +2,6% in consumi interni e un +13% nell'export, segnando aumenti per il terzo anno consecutivo. È sulla base di questo continuo trend positivo

ANNO	PRODUZIONE (.000 hl)	IMPORTAZIONI (.000 hl)	ESPORTAZIONI (.000 hl)	CONSUMI (.000 hl)	PRO/CAPITE (litri/anno)
2000	12.575	4.142	428	16.289	28,1
2001	12.782	4.414	502	16.694	28,9
2002	12.592	4.437	689	16.340	28,2
2003	13.673	4.664	884	17.453	30,0
2004	13.170	4.873	849	17.194	29,6
2005	12.798	5.258	716	17.340	29,9
2006	12.818	5.814	781	17.851	30,3
2007	13.462	6.119	1.068	18.513	31,1
2008	13.273	5.996	1.503	17.766	29,4
2009	12.776	5.822	1.743	16.855	28,0
2010	12.814	6.304	1.869	17.249	28,6
2011	13.410	6.391	2.086	17.715	29,8
2012	13.312	6.155	1.990	17.477	29,3
2013	13.256	6.175	1.927	17.504	29,2
2014	13.521	6.203	1.995	17.729	29,2
2015	14.015	6.987	2.286	18.726	30,8
2016	14.516	7.094	2.582	19.029	31,4
2017	15.673	6.867	2.856	19.684	32,5
2018	16.421	6.953	3.045	20.324	33,6
2019	17.271	7.062	3.448	20.861	35,0

TABELLA_1 Il mercato della birra in Italia - dati European beer trends, 2020

(+35% dal 2009), sulla sempre crescente varietà di prodotto che si prevede che questo comparto continuerà a crescere (FIGURA_1). Secondo il The Brewers of Europe 2020 il mercato brassicolo italiano è in continua espansione, nonostante la battuta d'arresto dovuta al lockdown da Covid-19: da maggio a giugno 2020 la produzione ha subito un calo del -22% dovuto alla chiusura di bar e ristoranti. Il settore, fiducioso, si propone come nuovo trampolino di lancio per l'economia post Covid-19 [Osservatorio della birra, 2021].

L'aumento di consumi e produzione ha contribuito all'attenzione che si è posta sui prodotti utilizzati, sui processi di produzione, sull'innovazione, sulle nuove tecnologie impiegate e ovviamente anche sull'impatto ambientale di questo settore.

Come sottolinea AssoBirra [AssoBirra, 2020] il comparto birrario ha raggiunto e superato gli obiettivi di riduzione fissati per il 2020, ovvero -25% di acqua impiegata per la produzione e -50% di CO₂ emessa, registrando, nel decennio di monitoraggio 2010-2019, -35,52% di acqua per la produzione, -58,58% di CO₂ emessa e -26,22% di energia non rinnovabile utilizzata nel processo produttivo (FIGURA_2).

L'Italia, nel 2019, si posiziona al settimo posto come Paese in Europa per produzione di birra con 17,2 milioni di ettolitri, dopo Germania (91,6 mln di hl), Polonia (4,4 mln di hl), Spagna

(39,5 mln di hl), Paesi Bassi (24,1 mln di hl) e Repubblica Ceca (21,6 mln di hl) (TABELLA_2). Ritroviamo l'Italia, rispetto ai ventisette Stati membri dell'UE, al quinto posto per consumi totali (TABELLA_3)), al ventiquattresimo per consumi pro-capite, al terzo per le importazioni e al sesto per numero di esportazioni (FIGURA_3). Nell'Unione Europea sono attivi 11.048 birrifici di cui 853 italiani, posizionando la Nazione al quarto posto per numero di imprese, segnando un aumento di 344 birrifici dal 2013 (TABELLA_4). Di questi 853, 684 sono microbirrifici (FIGURA_4), la restante parte si divide tra birrifici industriali, Brew-Pub e Beer-Firm.

PRODUZIONE DI BIRRA



% CONSUMI FUORI CASA



CONSUMI PRO-CAPITE



FIGURA_1 Trends produzione e consumi della birra
Fonte: AnnualReport 2019 - AssoBirra

2010-2019



FIGURA_2 Obiettivi raggiunti dal comparto brassicolo dal 2010-2019 in Italia
Fonte: AnnualReport 2019 - AssoBirra

PAESE	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Germania	94,36	95,27	95,62	94,96	93,01	93,65	91,61
Polonia	40,00	40,07	40,89	41,37	40,38	42,60	40,41
Spagna	32,61	33,61	34,89	36,34	37,39	38,13	39,51
Paesi Bassi	23,64	23,77	24,01	24,56	24,31	24,91	24,13
Francia	18,30	19,85	20,30	20,65	21,00	22,00	22,30
Repubblica Ceca	18,69	19,13	19,53	20,47	20,32	21,27	21,60
Italia	13,27	13,52	14,29	14,52	15,67	16,42	17,27

TABELLA_2 Produzione di birra 2013-2019 in 1000 HL
Fonte: European Beer Trends 2020

PAESE	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Germania	85,89	86,51	86,02	85,53	83,58	84,65	82,93
Spagna	35,21	36,31	37,46	38,51	39,37	39,95	41,30
Polonia	37,39	37,64	37,71	37,90	37,22	38,36	37,95
Francia	19,42	19,96	20,60	21,19	21,50	23,50	23,60
Italia	17,54	17,75	18,91	19,03	19,68	20,32	20,86

TABELLA_3 Consumo di birra 2013-2019 in 1000 HL
Fonte: European Beer Trends 2020

PAESE	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Francia	580	663	793	950	1100	1600	2200
Germania	1349	1352	1388	1408	1492	1539	1548
Svizzera	375	409	483	623	753	869	1021
Italia	509	599	688	757	868	874	853

TABELLA_4 Numero di birrifici attivi
Fonte: European Beer Trends 2020

2019



7,062
in 1000 HL



3,448
in 1000 HL

FIGURA_3 Import - Export Italia anno 2019
Fonte: European Beer Trends 2020



FIGURA_4 Numero di microbirrifici attivi
Fonte: European Beer Trends 2020

I.1.1 CLASSIFICAZIONE DEI BIRRIFICI

Per comprendere meglio il settore brassicolo bisogna sottolineare le differenze sui volumi e i processi di produzione che portano alla classificazione della singola azienda.

La prima distinzione da fare è tra birrifici artigianali e industriali. La birra industriale, durante le fasi di processo, subisce pastorizzazione e filtrazione; questi due processi hanno lo scopo di omologare e standardizzare il prodotto e allungarne i tempi di conservazione; inoltre i birrifici industriali hanno grandi volumi di produzione e, per questo motivo, la birra ha minor prezzo di mercato. In Italia troviamo sedici birrifici industriali (FIGURA_5) distribuiti per l'60%



FIGURA_5 Distribuzione birrifici industriali in Italia, 2021

nel nord del Paese [5]. Di contro alla base dell'artigianalità della birra troviamo: integrità del prodotto, dimensione del birrificio e indipendenza del birrificio. Con la Legge 28 luglio 2016 n. 154 [6], la birra artigianale diventa materia legislativa: all'articolo 35 "viene definita "birra artigianale" la birra prodotta da piccoli birrifici indipendenti e non sottoposta, durante la fase di produzione, a processi di pastorizzazione e di microfiltrazione. Ai fini del presente comma si intende per piccolo birrificio indipendente un birrificio che sia legalmente ed economicamente indipendente da qualsiasi altro birrificio, che utilizzi impianti fisicamente distinti da quelli di qualsiasi altro birrificio, che non operi sotto licenza di utilizzo dei diritti di proprietà immateriale altrui e la cui produzione annua non superi 200.000 ettolitri, includendo in questo quantitativo le quantità di birra prodotte per conto di terzi". Il disegno di legge per redigere le definizioni inerenti al settore brassicolo è stato presentato da Unionbirrai e CNA [7]. Questa precisazione legislativa nasce dalla volontà di promuovere e certificare prodotti locali e filiere corte controllate. Oltre al gusto del prodotto finale, quindi, le principali differenze riguardano i volumi di produzione.

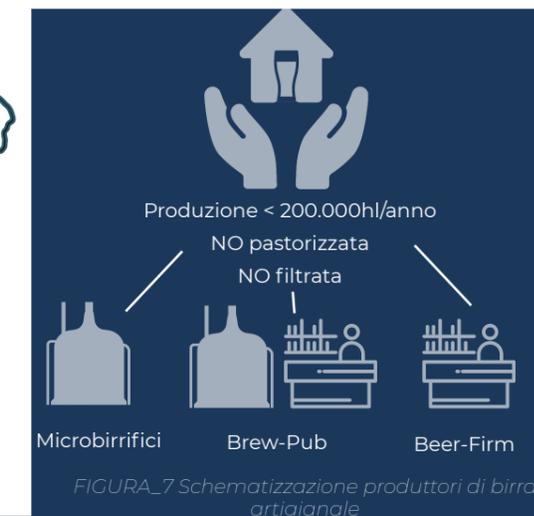
La definizione sopra riportata comprende piccole e medie unità produttive, definite genericamente "birrifici artigianali" (FIGURA_6), che

operano in ambito locale. La birra artigianale può essere realizzata attraverso tre modelli operativi: "microbirrifici", "Brew-Pub" e "Beer-Firm". Vengono chiamate "microbirrifici" quelle

aziende birraie che si occupano della sola produzione di bevande da rivendere a terzi. Il concetto di Brew-Pub, come suggerisce il termine, ingloba il mondo dei birrifici artigianali con quello della mescita. Sono locali che hanno al loro interno unità di produzione e spazi per la somministrazione e/o ristorazione. Le Beer-Firm, infine, sono dei marchi che non possiedono un proprio luogo di produzione, spesso a causa degli elevati costi degli impianti, ma che registrano proprie etichette. In questo caso si avvalgono di birrifici più affermati per la produzione a fronte di un pagamento per l'affitto dei macchinari (FIGURA_7) [8].



FIGURA_6 Distribuzione birrifici artigianali in Italia al 2021
Fonte: numeri microbirrifici.org



FIGURA_7 Schematizzazione produttori di birra artigianale

NOTE

- [1] CAGR è l'acronimo di Compound Annual Growth Rate ovvero il tasso annuo di crescita composto.
 [2] Decreto Legislativo 27 novembre 1992, n° 464. Attuazione dell'art. 36 della legge 19 febbraio 1992, n. 142, recante delega legislativa al Governo per le modifiche al sistema di accertamento dell'imposta di fabbricazione della birra.
 [3] Decreto Legislativo 26 ottobre 1995, n° 504. Testo unico delle disposizioni legislative concernenti le imposte sulla produzione e sui consumi e relative sanzioni penali e amministrative.
 [4] AssoBirra nasce nel 1907, Associazione di Birrai e Maltatori che riunisce e rappresenta il 90% delle aziende birrarie operanti sul territorio italiano.
 [5] Birra Castello, UD; Birra Forst, BZ; Birra Morena, PZ; Menabrea, BI; Peroni, RM; Birra Amarcord, RN; Birra del Borgo, RI; Birra Hibu, MB; Birramare, RM; Birrificio del Ducato, PR; Birrificio Messina, ME; Carlsberg Italia, MI; Hausbrandt Trieste 1892, TV; Heineken Italia, MI; Semedorato, CL; Tre Fontane, RM; Ichnusa, CA. <https://www.beverfood.com/birrifici/italia.html>
 [6] LEGGE 28 luglio 2016, n. 154 "Deleghe al Governo e ulteriori disposizioni in materia di semplificazione, razionalizzazione e competitività" dei settori agricolo e agroalimentare, nonché sanzioni in materia di pesca illegale". ART. 35: "Disposizioni in materia di produzione della birra artigianale" <https://www.normattiva.it/uri-res/N2L5?urn:nir:stato:legge:2016;154>
 [7] Unionbirrai: associazione piccoli birrifici indipendenti nata nel 1999. CNA: Confederazione Nazionale dell'Artigianato e della Piccola e Media Impresa fondata nel 1946.
 [8] https://www.microbirrifici.org/Beer_Firm_news.aspx

1.2 GLI INGREDIENTI BASE: MALTO, LUPPOLO, ACQUA E LIEVITO.

Con la denominazione “birra” si intende quel prodotto ottenuto dalla fermentazione alcolica di un mosto preparato con malto di orzo o di frumento con acqua, amaricato con luppolo [9].

La birra, infatti, nella sua formulazione più semplice è composta da quattro ingredienti fondamentali: l'orzo da cui viene ricavato il malto, il luppolo, il lievito e l'acqua. Dal rapporto di questi ingredienti e dalla varietà di luppolo utilizzato nella ricetta vengono definite diverse categorie di birra, come: le Ale, le Lager, le Porter e le Stout. Oltre a questi ingredienti, per conferire sapori particolari e per garantire unicità alle miscele vengono aggiunti alcuni additivi.

Il malto rappresenta la fonte di amido nella birra che fornisce la base per la fermentazione, giocando un ruolo fondamentale nel determinare il sapore della bevanda. Esso nasce dal processo di maltazione dei cereali, passaggio necessario che prepara i chicchi al processo di produzione della birra, che si ottiene facendo germinare i grani mediante la bagnatura e interrompendo poi la germinazione per essiccazione. Il cereale più utilizzato è l'orzo per l'elevato

contenuto di amido e il basso valore proteico.

L'orzo è un cereale ottenuto dalle cariossidi (FIGURA_8) dell'*Hordeum vulgare*, pianta appartenente alla famiglia delle Graminacee. I chicchi d'orzo si presentano in due file (orzo distico) o sei file (orzo esastico) di cariossidi intorno alla spiga (FIGURA_9) [Ecoculture, 2011]. Le coltivazioni presenti in Italia di orzo destinato alla produzione di birra, e maggiormente utilizzate per la produzione di birra artigianale, sono solo di orzo distico, caratterizzato da cariossidi più grandi e omogenee con un contenuto proteico minore, garantendo un malto migliore rispetto a quello ottenuto da orzo polistico.

L'orzo è formato dalla parte amidacea (o endosperma) costituita da granuli d'amido e deve essere contenuta al 65% per generare un buon malto; dalla parte collosa che avvolge proteine e amido ed è responsabile della viscosità del mosto; dalla parte proteica che durante la maltazione viene degradata in amminoacidi (FIGURA_10). Ogni chicco è composto da tre parti principali: il germe (embrione), l'endosperma (che comprende l'aleurone e l'endosperma amidaceo) e il rivestimento. Quest'ultimo può essere suddiviso in due frazioni: il mantello del seme e gli strati più interni che circondano l'aleurone; sopra il mantello del seme si trovano gli strati del pericarpo, che a loro volta sono

coperti dalla buccia. Poiché il pericarpo è ceroso e leggermente impermeabile, e il mantello del seme funge da membrana semipermeabile, l'interfaccia del mantello del pericarpo-seme ha la funzione di separatore tra interno ed esterno. La buccia fornisce una protezione esterna al chicco, ed è un tessuto morto multistrato composto principalmente da pareti cellulari lignocellulosiche, ma contiene anche piccole quantità di proteine, resine e tannini [S. I. Mussatto et al., 2004].

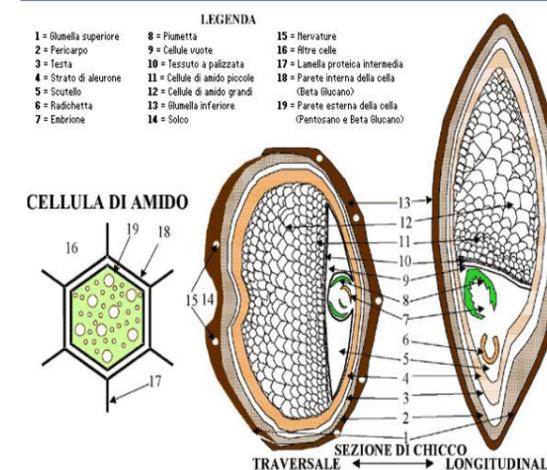
L'orzo adatto alla brassazione, dopo la coltura, deve avere determinate caratteristiche chimiche: tra cui un'umidità compresa tra il 12-14 % e un valore proteico compreso tra i 9.5-11.5%. L'umidità influisce sulla conservabilità dell'orzo: se troppo bassa il chicco diventa fragile e inadatto alla maltazione, mentre se troppo alta favorisce lo sviluppo di muffe compromettendo la capacità di germinazione. Il contenuto di proteine, invece, influenza la quantità di estratto: se troppo alto porta a problemi di filtrazione del mosto, se troppo basso causa problemi nutrizionali del lievito (TABELLA_5). Caratteristica fisica importante per determinare l'orzo utilizzabile è la dimensione della cariosside. Vengono esaminati 100g di orzo presi come campione da ogni lotto. I chicchi vengono divisi, mediante setacci vibranti, in tre granulometrie: “scarto” per diametro minore di 2.2mm, “orzo di II grado” per diametro maggiore di 2.2mm, “orzo di I



FIGURA_8 Orzo di birra
Fonte: G. De Francesco, 2019



FIGURA_9 Il chicco d'orzo distico ed esastico
Fonte: <https://thebeeradvisor.eu/homebrewing/i-cereali/i-cereali.html>



FIGURA_10 Composizione del chicco di orzo
Fonte: http://www.braumaster.com/birra_cosa_pop2.html

PARAMETRO	U.M	VALORI
UMIDITÀ	%	12-14
CARBO. TOT.	% s.s	70-85
AMIDO	% s.s	50-63
CELLULOSA	% s.s	6-5
PROTEINE	% s.s	9.5-11.5
LIPIDI	% s.s	1.5-2.0
CENERI (silice)	% s.s	1.0-2.0

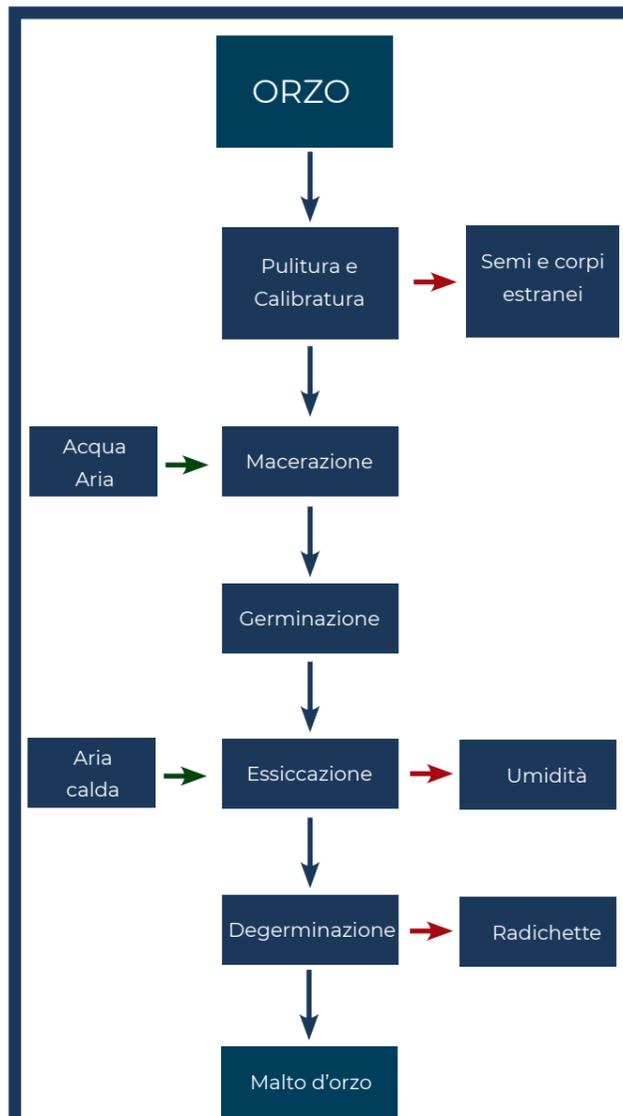
TABELLA_5 Caratteristiche chimiche dell'orzo
Fonte: D. Ceccaroli, 2019

grado” per diametro maggiore di 2.8 mm. In base alla frazione di I grado presente nel campione l’orzo viene etichettato come: orzo da birra medio (85%), orzo da birra buono (90%) e orzo da birra di qualità premium (95%) [D. Ceccaroni, 2019].

L’orzo dopo essere stato raccolto, pulito dai residui di coltura ed esaminato per il rispetto degli standard qualitativi, viene maltato. La maltazione viene effettuata attraverso tre passaggi: la macerazione, la germinazione e l’essiccazione (FIGURA_11).

I chicchi d’orzo vengono completamente immersi in acqua per 48 ore sino al raggiungimento del 45% di umidità di geminazione. L’obiettivo è l’idratazione uniforme dell’endosperma al fine di favorire l’inizio del processo germinativo, questo passaggio necessita di circa 2-4 m³ di acqua per tonnellata di orzo. Alla fine ogni chicco aumenta di circa il 25% la dimensione iniziale.

Successivamente i chicchi d’orzo vengono stesi su una superficie in una camera a temperatura controllata di circa 16 °C per 8/15 giorni. Durante questa fase si attivano gli enzimi idrolitici contenuti nel seme per permetterne lo sviluppo e l’emissione della radichetta (FIGURA_12). Questo processo viene bloccato, attraverso l’essiccazione, quando la radichetta raggiunge i tre quarti della lunghezza del chicco in modo da preservare gli zuccheri del seme che altrimenti sarebbero destinati



FIGURA_11 Flow sheet maltazione
Fonte: F. Balsarini, 2016



FIGURA_12 Fasi di germinazione di un chicco d'orzo.
Fonte: G. De Francesco, 2019

al germoglio. L’essiccazione avviene per immersione dei chicchi nell’essiccatoio, un recipiente a fondo forato in cui viene fatta fluire aria calda. La temperatura di questo processo varia a seconda del tipo di malto che si vuole ottenere: malti chiari a temperature inferiori a 80 °C, malti scuri a temperature superiori a 85 °C, e malti estremamente scuri fino a temperature di 200°C [F. Balsarini, 2016]. Il processo essiccativo può durare dalle 12 alle 24 ore, dopodichè per sfregamento o setacciatura vengono eliminate le radichette. Il malto d’orzo alla fine del processo si presenta con un’umidità del 4-5% e può essere utilizzato per la produzione della birra. Esso rappresenta il quantitativo maggiore da utilizzare per produrre la bevanda, e occorrono 15-20 kg di malto per produrre 100 l di birra.

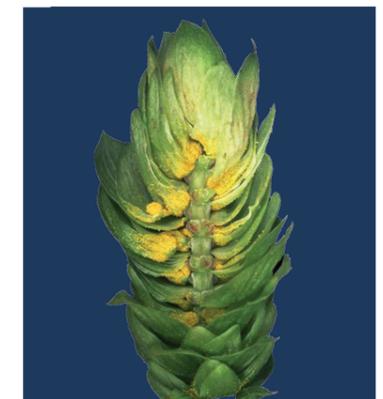
Il luppolo, invece, viene utilizzato in modeste quantità, variabili tra i 3-10 g in 23 l di birra, con funzione amaricante e aromatizzante. Il luppolo rappresenta i fiori, tecnicamente denominati coni, femminile della *Humulus lupulus* (FIGURA_13), pianta dionica, perenne e rampicante appartenente alla famiglia delle Cannabaceae, che raggiunge i 7 metri di altezza. I coni (FIGURA_14), riuniti in infiorescenze simili a grappoli, sono ricchi di ghiandole resinose, chiamate bratte, secernenti la luppolina, una resina composta da acidi organici, polifenoli e oli essenziali. Tali sostanze sono le responsabili dell’attività funzionale



FIGURA_13 *Humulus Lupulus*
Fonte: <https://www.giornaledellabirra.it/produzione/le-cure-culturali-per-il-luppolo/>



FIGURA_14 Infiorescenze femminili del luppolo



FIGURA_15 Sezione trasversale del luppolo.
Fonte: <https://www.enciclopediadelabirra.it/produzione-della-birra/luppolo-un-po-di-chimica/>

del luppolo nella birra (FIGURA_15) [E. Moretti, 2019]. Durante la raccolta i rami della pianta vengono tagliati a circa 1.5 m dal suolo e passati in una macchina che separa i coni e le foglie dai rami. I coni vengono poi divisi dalle foglie attraverso il passaggio su nastri vibranti. Per legge

il luppolo non deve contenere più del 6% di foglie. Le infiorescenze uscenti dalla raccolta contengono l'80% di umidità, di conseguenza devono essere sottoposte a essiccazione, fino al 14% di umidità, per essere conservate. Prima del confezionamento i luppoli vengono stoccati in camere con temperatura controllata (18-24 °C) [E. Moretti, 2019]. Il luppolo viene aggiunto negli ultimi minuti di bollitura del mosto e, oltre a conferire sapore alla birra, ne migliora la stabilità microbiologica e funge da conservante naturale [10]. Sul mercato è presente in diverse forme: cono essiccato, in pellet o in polvere.

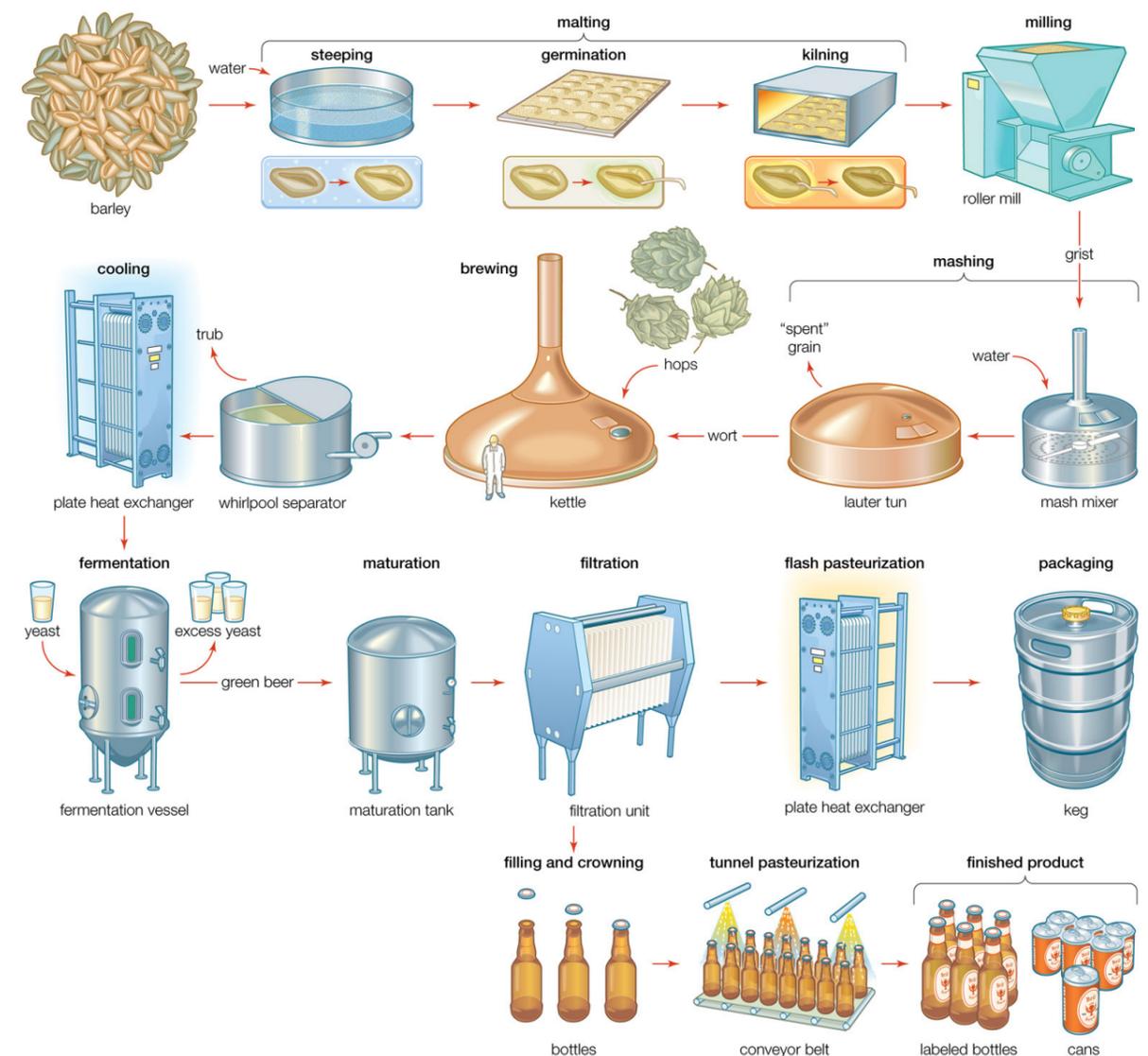
I lieviti che vengono aggiunti al mosto sono funghi anaerobi facoltativi che si moltiplicano trasformando gli zuccheri fermentescibili presenti nel mosto in alcool e anidride carbonica [E. Moretti, 2019]. La fermentazione alcolica del mosto viene innestata dai lieviti della famiglia dei Saccharomyces. Si può ottenere l'alta fermentazione dai lieviti Saccharomyces Cerevisiae che agiscono a temperature comprese tra i 12-24 °C; e la bassa fermentazione dai lieviti Saccharomyces Carlsbergensis, che avviano la fermentazione a temperature tra i 7-12 °C. La percentuale che viene introdotta nel mosto è minima, circa 11 g per 25 l di birra. I lieviti possono essere

liquidi o disidratati, devono essere scelti in base a specifiche caratteristiche intrinseche che determinano il tipo di birra finale, tra queste, la flocculazione, ovvero la capacità del lievito di raccogliersi in coaguli e precipitare sul fondo del fermentatore, che influenza la limpidezza del prodotto finale, la resistenza all'alcool e l'attenuazione intesa come la capacità del lievito di metabolizzare gli zuccheri; da essa dipende la corposità del malto [11]. L'ultimo principale ingrediente è l'acqua, considerando che la birra contiene 91-98% di acqua. Nel processo di birrificazione vengono introdotti 5-8 hl di acqua per 1 hl di birra. Il tipo di acqua ha un effetto diretto sul sapore della birra percepito dal consumatore e alcuni effetti indiretti come: la variazione del pH e l'influenza degli enzimi durante le prime fasi del processo, ed effetti sulla stabilità colloidale nelle ultime fasi. L'acqua grezza prima di entrare nel processo subisce trattamenti primari e secondari per essere decarbonata e liberata da solidi sospesi o composti organici e inorganici interni. Fanno parte dei trattamenti primari: la coagulazione, la sedimentazione, la filtrazione, l'aerazione e la disinfezione; di quelli secondari: lo scambio ionico, l'osmosi inversa e l'elettrodialisi [E. Moretti, 2018].

1.3 IL PROCESSO DI BIRRIFICAZIONE

Il processo di birrificazione si articola in varie fasi di lavorazione, che prendono il nome di cotta, e sono: macinatura del cereale maltato, ammostamento,

filtrazione, bollitura, luppolatura, filtrazione, whirlpool, refrigerazione, fermentazione, maturazione e imbottigliamento della birra (FIGURA_16). Lo scopo dell'intero processo è quello di convertire l'amido del malto in zuccheri attraverso l'impasto con l'acqua di processo e l'aggiunta di luppolo, al fine di ottenere un composto adatto alla fermentazione con lievito, per produrre birra [G. De Francesco, 2019].



FIGURA_16 Processo di birrificazione. Fonte: Enciclopedia Britannica, Inc. 2010

NOTE
 [9] Dicitura del DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 30 giugno 1998, n. 272. "Regolamento recante modificazioni alla normativa in materia di produzione e commercio della birra"
 [10] <https://www.encyclopediadellabirra.it/produzione-della-birra/luppolo-un-po-di-chimica/>
 [11] <https://www.ilbirraio.com/it/il-lievito-nella-birra/>

Nel primo passaggio il cereale, precedentemente sottoposto a maltatura (paragrafo 1.1), viene macinato con l'ausilio di un mulino. **La macinazione** avviene a secco o a umido, per passaggio del cereale maltato tra due o più rulli, interni al mulino, distanziati 1-1,2 mm. La frantumazione delle cariossidi facilita l'assorbimento d'acqua, aumentando l'esposizione dell'amido all'azione degli enzimi nella successiva fase di **ammostamento**. In quest'ultima, il malto viene versato nel tino di miscela con acqua calda formando il mosto. Il rapporto malto/acqua può variare da 1:2.2 a 1:5.0 a seconda del tipo di birra da produrre. In questa fase gli amidi dei cereali vengono convertiti in zuccheri semplici fermentabili, attraverso il controllo della temperatura dell'acqua, del tempo di immersione e del pH [12]. L'ammostamento può essere effettuato per infusione o per decozione. Nel primo caso il mosto viene posto in un unico tino con acqua e riscaldato fino a temperature comprese tra i 62-67 °C. Nel secondo caso il malto viene prima impastato in acqua fredda, poi si procede portando a bollitura solo una parte del mosto (circa 25%) ripetendo l'operazione più volte fino al raggiungimento di tutto il mosto alla temperatura di circa 80°C.

La fase successiva è **la filtrazione**, in cui il mosto viene depurato dalle sue componenti solide, chiamate trebbie di birra. Il processo si divide in due fasi: la

filtrazione del primo mosto per dividere le trebbie dal liquido e il lavaggio delle trebbie con acqua calda per estrarre le sostanze zuccherine rimaste nelle trebbie stesse. Il mosto viene trasferito dal tino di ammostamento al tino di filtrazione, composto da un falso fondo forato che consente la eluizione del mosto trattenendo le trebbie. Il processo dura 3-4 ore.

Successiva alla filtrazione è **la bollitura** del mosto. Quest'ultimo viene portato a bollitura per 40-90 minuti, lo scopo principale è denaturare gli enzimi ancora presenti, concentrare il mosto mediante evaporazione e favorire la coagulazione delle proteine. Nell'ultima fase della bollitura, quando la temperatura del mosto arriva a circa 95 °C, viene aggiunto il luppolo consentendo la trasformazione degli alfa acidi del luppolo in iso-alfa acidi e la solubilizzazione degli oli essenziali.

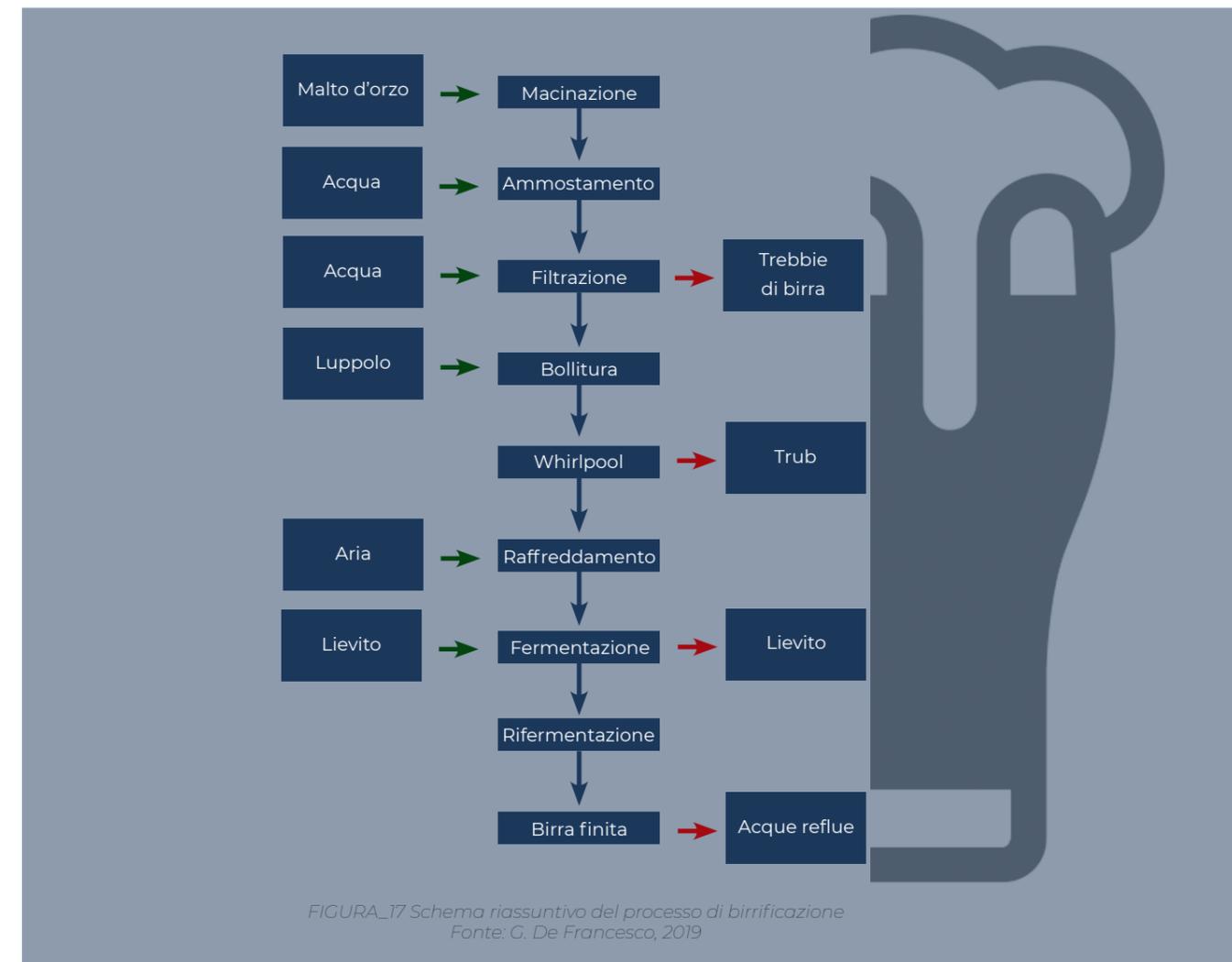
Al termine dell'ebollizione, il mosto viene trasferito in un chiarificatore, comunemente chiamato **Whirlpool**, e lasciato sedimentare per 15-20 minuti. Il mosto in questa fase contiene microfrazioni solide dovute ai residui del luppolo e alle proteine coagulate. La forza centrifuga del chiarificatore spinge la frazione solida verso l'esterno, l'urto con le pareti la rimanda al centro della macchina in un agglomerato compatto (comunemente chiamato trub) rilasciando il mosto limpido. Finita la chiarificazione, il mosto viene

trasportato nel **raffreddatore**, costituito da scambiatori di calore a piastre o a tubi. Questo passaggio porta il mosto alla temperatura di fermentazione (alta o bassa).

Il mosto raffreddato è privo di ossigeno, elemento essenziale per la formazione delle membrane cellulari dalla sintesi degli acidi grassi e, quindi, la crescita del lievito. L'ossigeno viene aggiunto al mosto o per insufflamento o attraverso arieggiamento meccanico [G. De

Francesco, 2019].

Finito l'ossigeno, viene introdotto il lievito e inizia il processo anaerobico della **fermentazione**. Questa fase dura due giorni, dopodichè la birra viene imbottigliata con l'aggiunta di zucchero per la **rifermentazione** e lasciata riposare per circa 2/3 settimane [13]. Nella Figura 17 viene proposto uno schema riassuntivo del processo di birrificazione in cui si chiariscono le fasi che generano i principali residui di produzione.



NOTE

[12] <https://www.britannica.com/topic/beer/Germination>

[13] <https://www.mastirraiumbri.com/la-ricetta-della-birra/>

1.4 GLI SCARTI DEL PROCESSO PRODUTTIVO

I quattro principali scarti uscenti dal processo brassicolo sono: le acque reflue, il trub, il lievito esaurito e le trebbie di birra.

La birra è composta principalmente di acqua, tuttavia, la quantità di acqua usata nel processo è molto maggiore. Si stima che per la produzione di 1 l di birra vengano generati dai 3-10 l di **acque reflue** tra i litri uscenti direttamente dalla produzione della birra e i litri per il lavaggio delle attrezzature [G. S. Simate et al., 2010]. Il consumo di acqua è suddiviso in 2/3 utilizzati nel processo e 1/3 nelle operazioni di pulizia [L. Fillaudea et al., 2006].

Queste acque sono caratterizzate da alti livelli di zuccheri e alcool, e pH basso, inoltre presentano un contenuto di materia organica biodegradabile (BOD) di 3.000 mg/l, un valore di solidi sospesi totali (TSS) di 2.000 mg/l [14] e una richiesta chimica di ossigeno superiore a 5.000 mg/l, valori che rendono indispensabile il trattamento prima dello smaltimento. Le principali fonti di TSS sono composte da residui di luppolo, trebbie di birra e lievito, depositati nelle attrezzature e che si uniscono alle acque reflue durante le

operazioni di pulizia [15]. Ogni birrificio avrà diverse concentrazioni di sostanze: i valori riportati sono valori medi di analisi condotte su un numero campione di birrifici (TABELLA_6).

Generalmente i birrifici scaricano il 70% dell'acqua in entrata nel processo come effluente, ovvero l'acqua di scarico che viene generata e fluisce nel sistema fognario. Nella maggior parte dei casi, i costi di approvvigionamento idrico per lo smaltimento degli effluenti è alto, ciò porta le aziende brassicole al trattamento delle acque reflue e alla reimmissione nel processo brassicolo [Brewers Association, 2010].

PARAMETRI	RANGE
Rapporto acqua/birra	4-10 l/l
Rapporto acque reflue/birra	1-2 l/l
BOD	600-5000 mg/l
COD	1.800-5.500 mg/l
Azoto	30-100 mg/l
Fosforo	30-100 mg/l
pH	3-12
TSS	200-1.500 mg/l

TABELLA_6 Composizione acque reflue
Fonte: Report Brewers Association "Water and Wastewater: Treatment/Volume Reduction Manual"

Il quantitativo di effluenti delle singole fasi di processo sono variabili. Il lavaggio delle bottiglie produce un grande volume di effluenti che contiene solo una piccola quantità di sostanze organiche scaricate. Gli effluenti della fase di fermentazione e di filtraggio contengono alti valori di BOD ma bassi volumi, rappresentando circa il 3% del volume totale delle acque reflue, ma

il 97% contenente BOD. Il pH medio è circa 7, ma varia da 3 a 12 a seconda dell'uso di detergenti acidi e alcalini [Brewers Association, 2010].

Altro residuo di produzione è il **trub**, ovvero i sedimenti formati nel processo di birrificazione durante la bollitura del mosto e uscenti dopo il processo di chiarificazione. Questo precipitato insolubile è costituito principalmente da proteine colloidali coagulate durante la bollitura del mosto, che formano complessi chimici con i polifenoli che si trovano naturalmente nel mosto. Inoltre contiene carboidrati complessi, lipidi, minerali, tannini e residui di luppolo. Il trub rappresenta lo 0,2-0,4% del volume totale del mosto, quindi la quantità dipende dai litri di birra prodotti. Circa l'85% del luppolo utilizzato per la produzione della birra viene rimosso sotto forma di trub [K. Rachwał et al., 2020]. La torta è caratterizzata da un contenuto di umidità tra l'80% e il 90%, dal 15-20% di sostanza secca e il 2-5% di ceneri. Il contenuto proteico dipende da diversi fattori e può variare tra le varie aziende, con valori medi compresi tra il 40 e il 70%. [N. J. Huige, 2006].

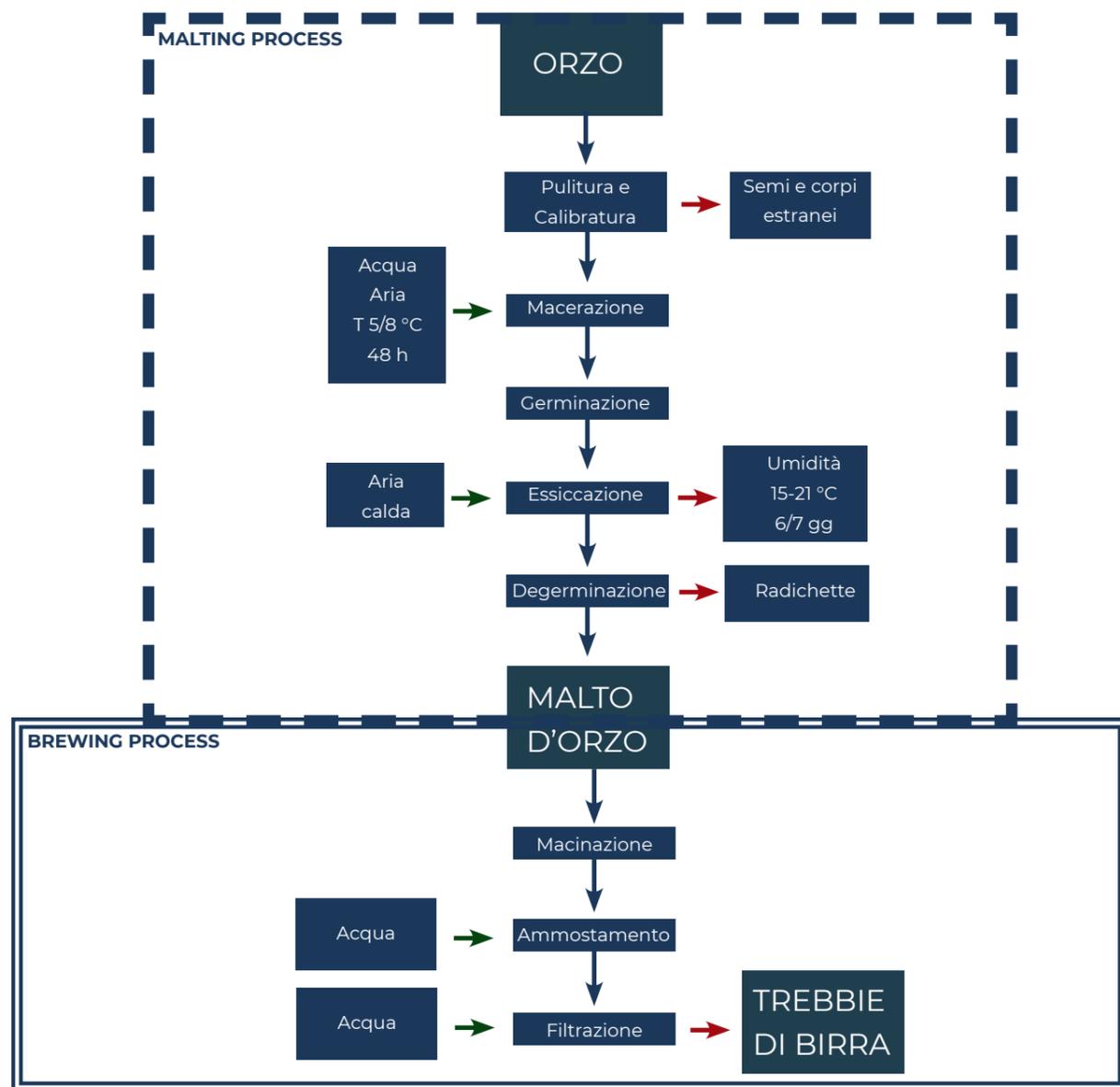
Il **lievito** di birra residuo è il secondo residuo più grande del processo di produzione, dopo le trebbie di birra, con un peso che rappresenta il 15% del volume totale dei residui di produzione [N. J. Huige, 2006].

Esso viene recuperato per

sedimentazione dopo la prima fase di fermentazione e può essere riutilizzato massimo sei volte. Il tasso di crescita dipende dalle condizioni di fermentazione nel birrifico e genera perdite di birra in un intervallo compreso tra 1,5 e 3% del volume totale di birra prodotta [L. Fillaudea et al., 2006]. Il volume medio di lievito residuo ottenuto dalla fermentazione è 2,7 kg/m³ del volume di birra uscente dal processo [K. Rachwał et al., 2020].

I lieviti residui sono organismi unicellulari contenenti il 49% di proteine, il 40% di carboidrati, il 7% di minerali e vitamine, il 4% di lipidi e il 3% di ceneri. Esce dal processo con un contenuto di umidità che varia dal 74% all'86%. Inoltre è ricco di composti polifenolici e vitamine del gruppo B (principalmente B1, B2, B3, B6 e B8). Le analisi hanno rivelato che il lievito di birra residuo presenta un alto contenuto di carbonio, con un valore compreso tra il 45% e il 47% di sostanza secca del lievito [I. Ferreira et al., 2010].

Le trebbie di birra rappresentano il residuo più grande di produzione in termini di volume e peso, pari a circa l'85% del totale dei residui generati [C. Xiros et al., 2006]. Esse vengono generate dalla fase di filtrazione del mosto (FIGURA_18) e rappresentano circa il 30% (p/p) del cereale maltato di partenza: ogni 100 l di birra vengono prodotti circa 20 kg di trebbie caratterizzate da valori di umidità tra il 70% e l'80% [J. A. Robertson et



FIGURA_18 Rappresentazione schematica del processo per ottenere trebbie di birra dall'orzo
Fonte: *Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications*



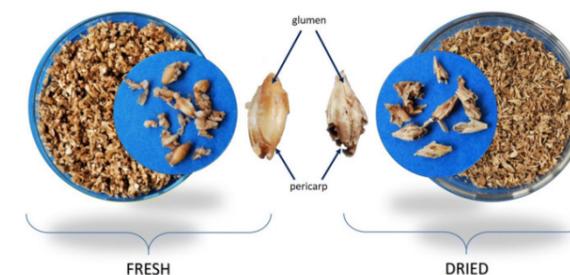
FIGURA_19 Trebbie di birra umide

al., 2010] (FIGURA_19). L'alto contenuto di polisaccaridi, proteine e umidità le predispone al deterioramento microbico in un breve periodo di tempo ovvero da 2 a 7 giorni, ciò rende necessario l'essiccazione del residuo o l'immediato disfacimento.

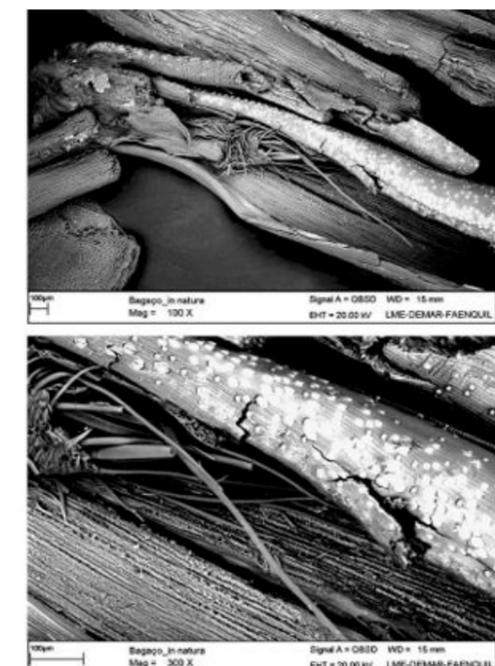
Le trebbie di birra vengono classificate come materiale lignocellulosico comprendendo le glume, il pericarpo e i tegumenti degli strati esterni dei chicchi d'orzo iniziali (FIGURA_20). Esse contengono sostanze nutritive che non vengono estratte durante i processi di maltazione e ammostamento, caratterizzate per il 20% da proteine e il 70% di fibre. La composizione chimica specificata da Santos et al. [2003] rileva circa il 17% di cellulosa, il 28% di polisaccaridi non cellulose (principalmente arabinoxilani), il 28% di lignina, il 15% di proteine, il 10% di lipidi e il 2% di ceneri. La Figura 21 rappresenta un chicco esausto visto al microscopio, in cui i punti luminosi sono i silicati presenti nella parte esterna della pula.

Anche se sono state notate minime differenze tra vari campioni di trebbie di birra basate sul tipo di orzo inizialmente utilizzato, la composizione include sempre alti livelli di fibre, proteine e aminoacidi essenziali, oltre a livelli inferiori di minerali, polifenoli, vitamine e lipidi [S.I.Mussatto et al., 2006] (TABELLA_7).

NOTE
[14] Le acque reflue domestiche sono caratterizzate da un BOD e un TSS di circa 150 mg/l.
[15] <https://www.ecologixsystems.com/brewery-wastewater-treatment/>



FIGURA_20 Comparazione tra trebbie di birra umide ed essiccate.
Fonte: *"The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain"*



FIGURA_21 Trebbie di birra al microscopio elettronico a scansione. (A) ingrandimento 100 volte. (B) ingrandimento a 300 volte.
Fonte: *Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications*

COMPONENTE (% in peso secco)	Campione A TREBBIE DI BIRRA	Campione B TREBBIE DI BIRRA
Cellulosa	25.4	16.8
Arabinoxylan	21.8	28.4
Lignina	11.9	27.8
Proteina	24.0	15.2
Lipidi	10.6	Nd
Ceneri	2.4	4.6

TABELLA_7 Composizione chimica di due campioni di trebbie di birra.
Fonte: *Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications*

I.5 QUADRO NORMATIVO RIGUARDANTE LE TREBBIE DI BIRRA

Considerando le quantità e le caratteristiche delle trebbie di birra, il presente studio si pone l'obiettivo di sviluppare un potenziale riuso di questo residuo. Questo paragrafo ha lo scopo di capire come vengono classificate le trebbie di birra dalla normativa vigente. Innanzitutto, poiché le trebbie di birra vengono comunemente denominate come residuo di produzione, si è definito il concetto di residuo di produzione come [16]:

"ogni materiale o sostanza che non è deliberatamente prodotto in un processo di produzione e che può essere o non essere un rifiuto"

Quindi se un residuo di produzione deve essere classificato come sottoprodotto, rifiuto o materia prima seconda dipende esclusivamente dalla sussistenza delle condizioni di legge. Il Decreto non contiene né un elenco di materiali definiti sottoprodotti né uno di tecniche da adottare per rispettare "la normale pratica industriale", rendendo indispensabile la verifica caso per caso di ogni rifiuto.

La definizione normativa di rifiuto, in Italia, è data dal Decreto Legislativo n.º

152 del 3 aprile 2006 (già contenuta nel decreto Ronchi), conosciuto come Testo Unico Ambientale o Codice dell'ambiente, entrato in vigore il 29 aprile 2006 e che esplicita le principali norme che regolano la disciplina ambientale, in attuazione della legge 15 dicembre 2004 n.º308. Le nuove regole sulla gestione dei rifiuti sono contenute nella parte IV composta da ottantanove articoli. L'articolo 183, comma 1 lettera a) del T.U.A. definisce rifiuto

"qualsiasi sostanza o oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi";

nel medesimo articolo alla lettera n) viene introdotto il concetto di sottoprodotto, ovvero

"i prodotti dell'attività dell'impresa che, pur non costituendo l'oggetto dell'attività principale, scaturiscono in via continuativa dal processo industriale dell'impresa stessa e sono destinati ad un ulteriore impiego o al consumo. Non sono soggetti alle disposizioni di cui alla parte quarta del presente decreto i sottoprodotti di cui l'impresa non si disfi, non sia obbligata a disfarsi e non abbia deciso di disfarsi ed in particolare i sottoprodotti impiegati direttamente dall'impresa che li produce o commercializzati a condizioni economicamente favorevoli per l'impresa stessa direttamente per il consumo o per l'impiego, senza la necessità di operare trasformazioni preliminari in un successivo processo produttivo; a quest'ultimo fine,

per trasformazione preliminare s'intende qualsiasi operazione che faccia perdere al sottoprodotto la sua identità, ossia le caratteristiche merceologiche di qualità e le proprietà che esso già possiede, e che si rende necessaria per il successivo impiego in un processo produttivo o per il consumo";

si definisce alla lettera q) materia prima secondaria (MPS):

"sostanza o materia avente le caratteristiche stabilite ai sensi dell'articolo 181",

sono quindi sostanze escluse dal regime dei rifiuti e ottenute al termine delle operazioni di recupero dei rifiuti ovvero quando non sono più necessarie operazioni di trasformazione.

L'articolo 181 indaga le tecniche di riciclaggio, reimpiego, riutilizzo e altre tecniche di recupero per ottenere materie prime secondarie.

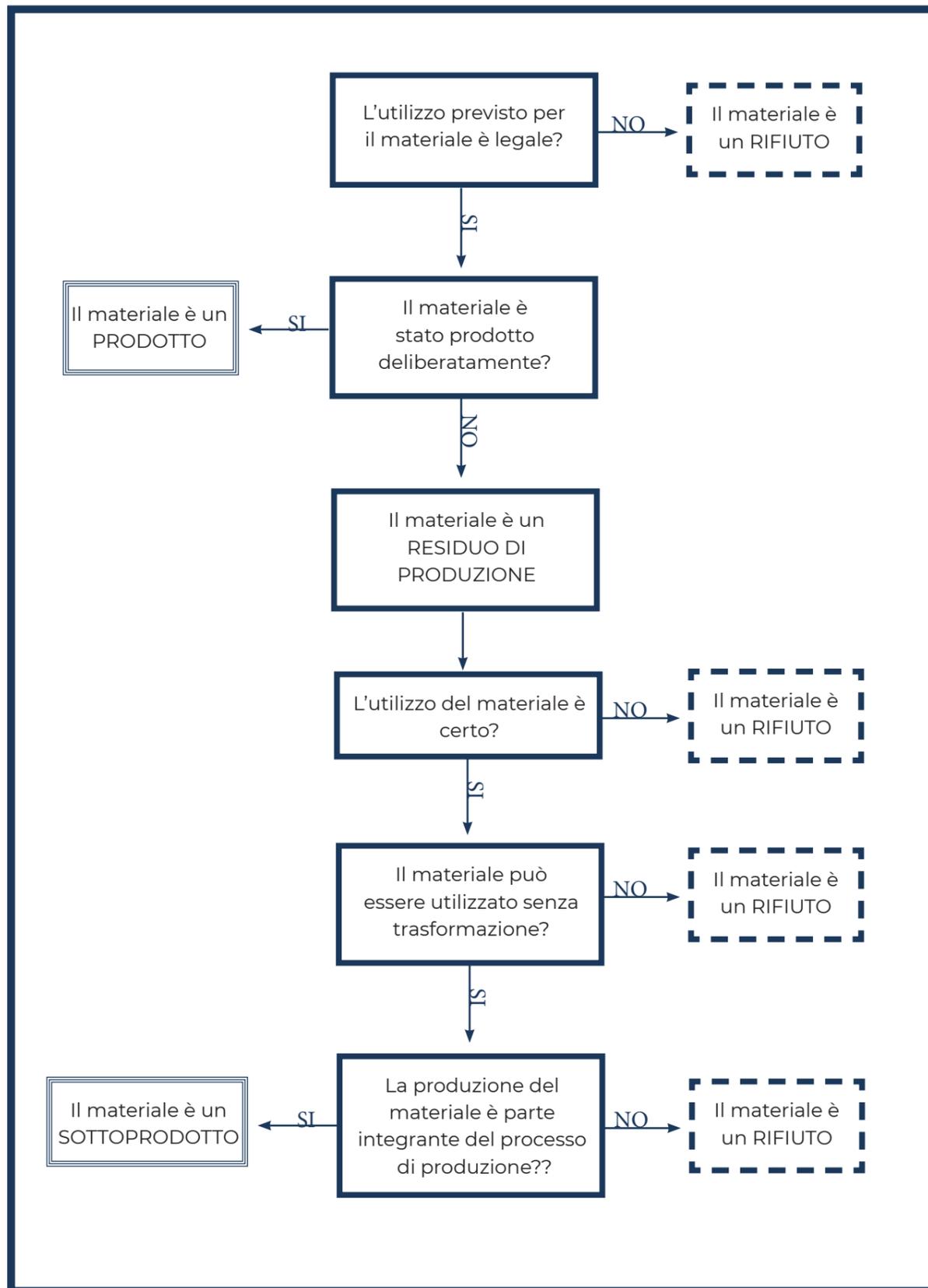
Vista la sensibilità della legge sulla classificazione di un rifiuto quando cessa di essere tale, nel 2007 la Commissione della Comunità Europea scrive la "Comunicazione interpretativa sui rifiuti e sui sottoprodotti", proponendo una chiave di lettura tra ciò che è rifiuto e ciò che non lo è in un processo di produzione, ammettendo una poca chiarezza giuridica sul tema. In particolare nel settore dell'industria agro-alimentare una distinzione tra sottoprodotto e rifiuto è fondamentale per l'utilizzazione economica della sostanza. Al punto 3.3.2.

sottolinea come:

"La catena del valore di un sottoprodotto prevede spesso una serie di operazioni necessarie per poter rendere il materiale riutilizzabile: dopo la produzione, esso può essere lavato, seccato, raffinato o omogeneizzato, lo si può dotare di caratteristiche particolari o aggiungervi altre sostanze necessarie al riutilizzo, può essere oggetto di controlli di qualità ecc."

Punto importante per la nostra fase di ricerca, che chiarisce una parte dell'articolo 184-bis (ripreso successivamente) in cui si definisce sottoprodotto una sostanza deve essere utilizzata "senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale", in quanto spesso le trebbie di birra hanno bisogno di un processo di essiccazione prima di essere riutilizzate. La Commissione ha quindi redatto uno schema (FIGURA_22) esplicativo come linea guida alla risoluzione del problema. Questo Decreto è stato ampliato dal Decreto Legislativo 205 del 3 dicembre 2010 con l'introduzione dell'art.184-bis, nel quale si definiscono i criteri che una sostanza deve rispettare per essere definita sottoprodotto come riportato nello schema, in pratica i sottoprodotti sono quegli scarti di produzione che possono essere gestiti come beni e non come rifiuti con vantaggi economici e gestionali, e incentivano l'utilizzo di prodotti a fini energetici.

Il riferimento normativo europeo

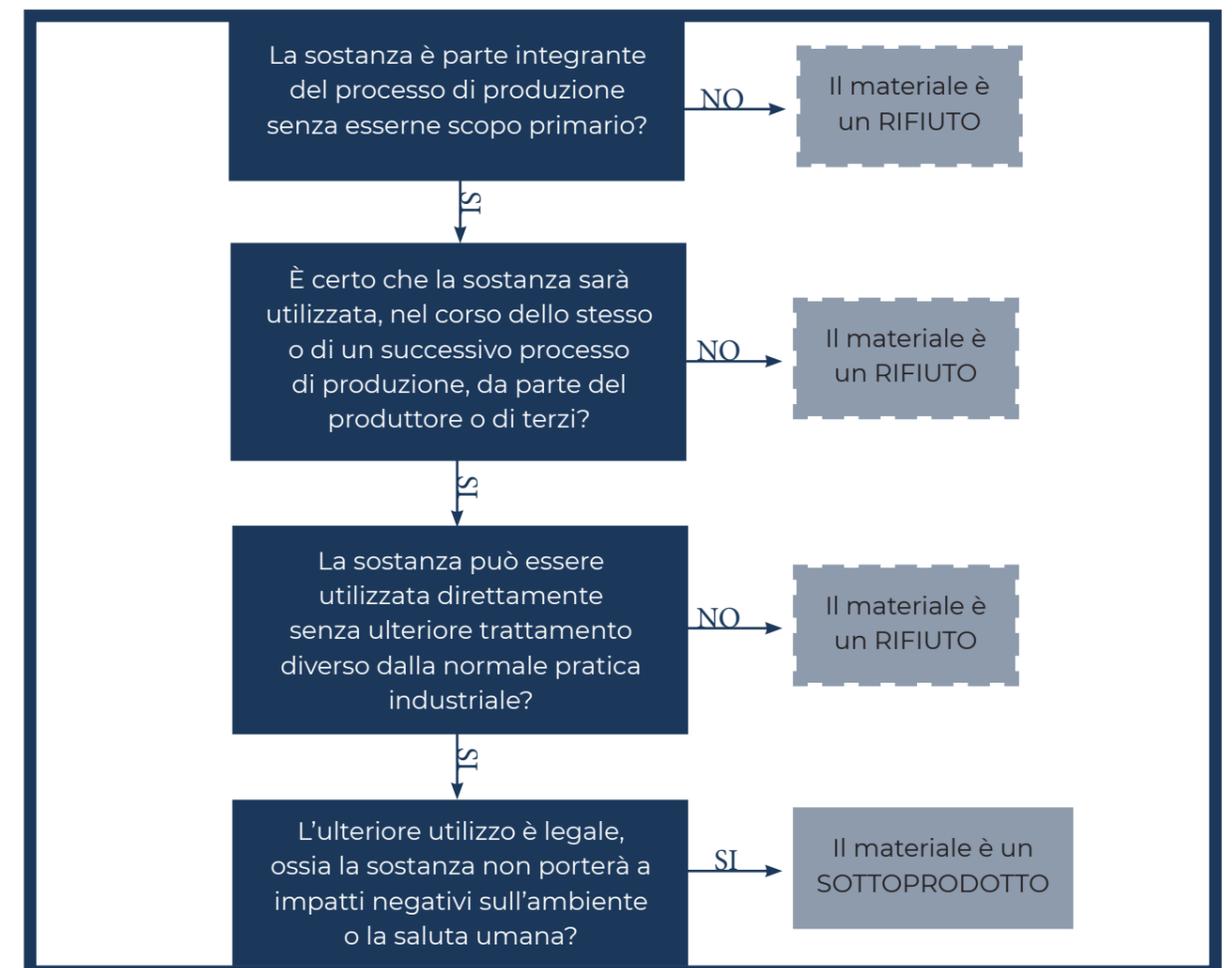


FIGURA_22 Allegato II - Schema per stabilire se un materiale è da ritenersi rifiuto o sottoprodotto
Fonte: Comunicazione interpretativa sui rifiuti e sui sottoprodotti

portante, dal quale l'ampliamento prende le linee guida, è la Direttiva quadro sui rifiuti ovvero la Direttiva 2008/98/CE del 19 novembre 2008 che pone l'obbligo al legislatore nazionale di adeguare le norme vigenti alle più recenti normative comunitarie, soprattutto per quanto riguarda i concetti di rifiuto, recupero e sottoprodotto. Propone inoltre una classificazione dei rifiuti in base a: prevenzione, recupero, riciclaggio, riutilizzo e smaltimento. Essa fornisce un focus da adottare con l'obiettivo di proteggere l'ambiente e la salute

umana riducendo la produzione di rifiuti o migliorandone l'efficienza per facilitare il passaggio a un'economia circolare, incentivando l'applicazione della "gerarchia dei rifiuti", il rispetto del principio "chi inquina paga" e di responsabilità estesa del produttore (FIGURA_23).

In questo ambito la "Guidance on the interpretation of key provisions of Directive 2008/98", ha sottolineato che sono consentiti gli interventi che "nella catena del valore del sottoprodotto" risultano "necessari per poter rendere il



FIGURA_23 Esplicitazione del concetto di rifiuto e sottoprodotto
Fonte: Direttiva 2008/98/CE

materiale riutilizzabile”.

Il sottoprodotto potrà quindi subire dei trattamenti come lavatura, seccatura, raffinamento ecc.“. Stabilisce inoltre che un sottoprodotto non deve nascere da una scelta tecnica del produttore che decide volontariamente di produrlo, e da qui un altro punto importante riguarda il processo produttivo che implica una connessione periodica e non episodica tra il ciclo produttivo e il residuo finale, tenendo comunque conto che alcune fasi della commercializzazione del sottoprodotto possono essere condotte da terzi in una sfera di ampliamento dei vincoli di riutilizzo.

Il Decreto recepisce anche il concetto di End of Waste (cessazione della qualifica di rifiuto) attraverso l'articolo 184-ter secondo cui un rifiuto smette di essere considerato tale quando viene sottoposto a un'operazione di recupero che può essere anche il controllo del rifiuto per stabilire che soddisfi alcuni criteri ovvero:

- "a) la sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzato per scopi specifici;*
- b) esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;*
- c) la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti;*
- d) l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana."*

Basato sull'articolo 6 della direttiva

2008/98/CE, questo punto vuole evidenziare quando un rifiuto cessa di essere tale e diviene materia prima secondaria poiché molte aziende di riciclaggio e recupero non avevano linee guida comunitarie a cui far riferimento, ciò comportava un ostacolo nello sviluppo del mercato e la produzione di beni riciclati di scarsa qualità. La norma italiana non fa riferimento a specifici rifiuti o trattamenti, dal riciclaggio alla preparazione per il riutilizzo, e inoltre invita a un approccio caso per caso.

Attraverso prima il D.lgs 152/2006, poi il D.lgs 205/2010 è stato recepito in Italia il catalogo europeo dei rifiuti (CER), che ritroviamo nell'allegato D della parte quarta. Esso divide i rifiuti in pericolosi e non pericolosi identificandoli con un codice; nella sezione non pericolosi, al codice 02 07, "rifiuti della produzione di bevande alcoliche ed analcoliche (tranne caffè, tè e cacao)" in cui rientrano anche i rifiuti dell'industria birraria, definiti "rifiuti speciali".

A proporre il passaggio da rifiuti speciali a sottoprodotti dell'industria trattata è il Decreto 6 luglio 2012, attuazione dell'art. 24 del Decreto Legislativo 3 marzo 2011 n. 28, recante incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti a fonti rinnovabili diversi dai fotovoltaici. Attraverso questo decreto si vuole definire le modalità di accesso a incentivi per perseguire gli obiettivi presenti nei Piani di azione per le energie rinnovabili

3. SOTTOPRODOTTI PROVENIENTI DA ATTIVITÀ ALIMENTARI E AGRO-INDUSTRIALI

- Sottoprodotti della trasformazione del pomodoro
- Sottoprodotti della trasformazione delle olive
- Sottoprodotti della trasformazione dell'uva
- Sottoprodotti della trasformazione della frutta
- Sottoprodotti della trasformazione di ortaggi vari
- Sottoprodotti della trasformazione delle barbabietole da zucchero
- Sottoprodotti derivati dalla lavorazione del risone
- Sottoprodotti della lavorazione dei cereali
- Sottoprodotti della lavorazione di frutti e semi oleosi
- Pannello di spremitura di alga
- Sottoprodotti dell'industria della panificazione
- Sottoprodotti della torrefazione del caffè
- Sottoprodotti della lavorazione della birra

TABELLA_8 Elenco sottoprodotti provenienti da attività alimentari e agroindustriali
Fonte: Decreto 6 luglio 2012

diverse dai fotovoltaici, date dai sottoprodotti. All'allegato 1 nella tabella 1.A troviamo l'elenco dei sottoprodotti utilizzabili negli impianti a biomasse e biogas ai fini dell'accesso ai meccanismi incentivanti di cui al presente decreto (TABELLA_8). Classificati in Categoria 1 al punto 3 "Sottoprodotti provenienti da attività alimentari e agroindustriali" troviamo i sottoprodotti provenienti dalla lavorazione della birra. Infatti, come vedremo nel capitolo successivo sono stati effettuati alcuni studi che, attraverso la pirolisi, hanno trasformato le trebbie di birra in pellet per uso energetico. A tal proposito è bene nominare il convegno "I Sottoprodotti Agroforestali e Industriali a Base Rinnovabile" tenutosi

all'Università Politecnica delle Marche il 27 settembre 2013, che è stato sede di dibattito per l'inquadramento dei sottoprodotti di interesse del D.M. 6/7/2012 e ha presentato una stima della disponibilità nazionale dei residui di molte industrie. La sezione 17 riguarda i sottoprodotti dei birrifici (FIGURA_24). Il primo regolamento italiano sui sottoprodotti però è il Decreto del Ministro dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare 13 ottobre 2016 n° 264 entrato in vigore il 2 marzo 2017 "Criteri indicativi per agevolare la dimostrazione della sussistenza dei requisiti per la qualifica dei residui di produzione come sottoprodotti e non come rifiuti", previsto dal comma 2 dell'articolo 184-

Principali prodotti della trasformazione/servizi: birra, lievito di birra

**Principali materiali residuali qualificabili come sottoprodotti ai fini energetici:
trebbie di birra**

Rese di produzione della birra riferite a 100 kg di malto d'orzo in ingresso

Prodotti in ingresso (kg)		Prodotti in uscita		Sottoprodotti (kg)	
Malto d'orzo	100	Birra	8,4 hl	Trebbie di birra	116,6
Cereale	33,3		Lievito di birra		
Luppolo	2,2				
Lievito	6,7				
Acqua	32,6				

FIGURA_24 Stima della resa di produzione dei sottoprodotti per 100 kg di malto d'orzo
Fonte: I Sottoprodotti Agroindustriali e Industriali a Base Rinnovabile

bis del Decreto Legislativo 152/2006. Questo decreto è nato come strumento semplificativo per comprendere come meglio dimostrare il soddisfacimento delle disposizioni dell'articolo 184-bis.

All'articolo 2 vengono inserite le seguenti definizioni:

a) prodotto: ogni materiale o sostanza che è ottenuto deliberatamente nell'ambito di un processo di produzione o risultato di una scelta tecnica. In molti casi è possibile identificare uno o più prodotti primari;

b) residuo di produzione (di seguito «residuo»): ogni materiale o sostanza che non è deliberatamente prodotto in un processo di produzione e che può essere o non essere un rifiuto;

c) sottoprodotto: un residuo di produzione che non costituisce un rifiuto ai sensi dell'articolo 184 -bis del decreto legislativo 3 aprile 2006 n. 152"

Questo decreto si applica ai residui di produzione e sottolinea che lo stesso per essere definito sottoprodotto deve

nascere da un processo produttivo e deve avere una "certezza dell'utilizzo" attraverso "l'esistenza di rapporti o impegni contrattuali tra il produttore del residuo, eventuali intermediari e gli utilizzatori" in cui si deve spiegare a cosa saranno destinati i residui e le relative modalità di trasporto e deposito.

Nella pratica però presenta qualche incomprendimento come, ad esempio, nell'ambito di applicazione poiché, come sancito nel comma 2 dell'articolo 184-bis, esso non può stabilire dei criteri applicabili a tutti i sottoprodotti ma si limita a "specifiche tipologie di sostanze o oggetti". La finalità principale resta quella di "favorire ed agevolare l'utilizzo come sottoprodotti" anche se negli allegati il decreto fa, ancora una volta, riferimento solo alle biomasse residue destinate all'impiego per la produzione di biogas in impianti energetici o per la produzione di energia mediante combustione. Infatti nella sezione 1 al punto 3 troviamo,

nell'ambito dei sottoprodotti provenienti da attività alimentari ed agroindustriali, i sottoprodotti provenienti dalla lavorazione della birra che devono far riferimento alla norma Reg. Ce 1069/2009 e normativa di attuazione e per i quali le normali pratiche industriali si identificano come "lavaggio, essiccazione, insufflazione di aria, raffinazione, triturazione, omogeneizzazione, fermentazione naturale, centrifugazione, disidratazione, disgregazione fisicomeccanica".

Oggi, il maggior numero di trebbie di birra come sottoprodotto agroindustriale è destinato all'alimentazione animale. Anche in questo caso bisogna assicurare la continuità nel sistema di gestione, il deposito, il trasporto e la dimostrazione dell'utilizzazione effettiva per tempi e modalità con una formalizzazione contrattuale che nel caso di sottoprodotti destinati all'alimentazione di animali da reddito c'è l'obbligo di tracciabilità data dalla norma Reg. (CE) n° 852/2004, regolamento sull'igiene dei prodotti alimentari.

Nella voce alimenti veterinari sul sito dell'Università di Bologna troviamo la definizione in questo settore di trebbie di birra. Queste sono un "Sottoprodotto della birreria ottenuto per essiccazione dei residui di cereali sottoposti o no al maltaggio e di altri prodotti amilacei." Come fonte alimentare in piccole percentuali per: ruminanti, suini e volatili. Poiché la finalità di questa tesi è quella di

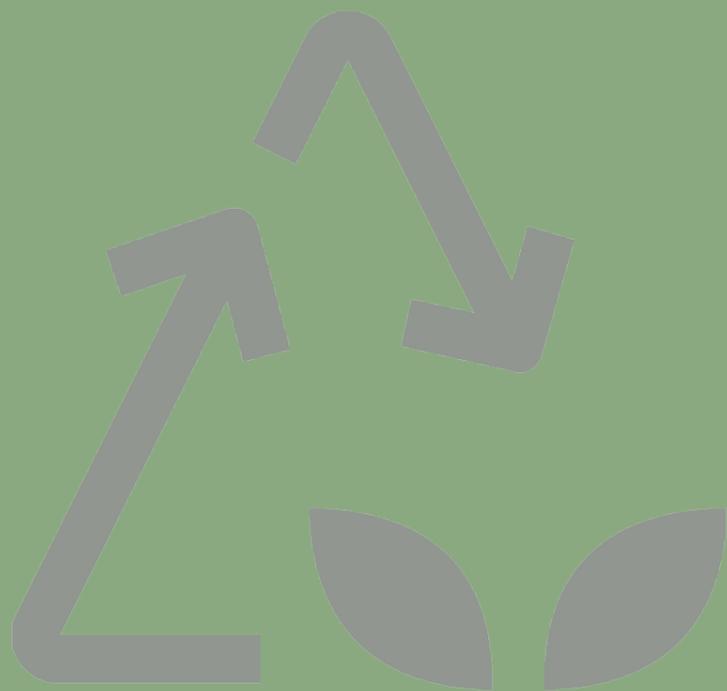
integrare le trebbie di birra in un processo di reimpiego nell'industria edile, nostro interesse è per lo più etichettare questi residui di produzione. Come espresso nella risoluzione in Commissione agricoltura n° 7/01035 presentata da Sani Luca il 29/06/2016 nella seduta numero 644:

"le trebbie di birra sono i sottoprodotti ottenuti per essiccazione dei residui di cereali sottoposti al maltaggio, costituite dal residuo dell'estrazione a caldo del cereale maltato: comprendono gli involucri esterni della granella e le frazioni che non hanno subito solubilizzazione nel processo di maltaggio e ammostamento; infatti la presenza di principi nutritivi varia nelle trebbie in modo anche sensibile in dipendenza dei metodi di ammostamento e, più ancora, delle caratteristiche del cereale impiegato",

la proposta evidenzia che molte delle trebbie di birra prodotte in Italia vengono destinate all'alimentazione animale o agli impianti a biomasse e gas, ma poiché il quantitativo prodotto è maggiore rispetto alla richiesta, molti birrifici procedono con lo smaltimento in discarica non ricavandone un compenso economico né una facilità di smaltimento.

NOTE
[16] "Comunicazione della Commissione al consiglio e al parlamento europeo relativa alla Comunicazione interpretativa sui rifiuti e sui sottoprodotti." Bruxelles, 21.2.2007.





I RIUSI REALI E POTENZIALI DELLE TREBBIE DI BIRRA

La necessità di porre attenzione alle tematiche di tutela ambientale ed economico ha indotto il settore produttivo a verificare la possibilità di utilizzo dei sottoprodotti agro-industriali. Le trebbie di birra rappresentano, in quest'ambito, un sottoprodotto abbondante e sempre reperibile.

In questo capitolo vengono analizzate le possibili applicazioni e utilità delle trebbie di birra, dalle più comuni alle sperimentazioni più innovative.

La prima ricerca si fonda su una metodologia applicata nei birrifici che hanno adottato il concetto etico di "zero rifiuti"; mentre gli articoli, che sono stati selezionati e approfonditi, riguardano il reimpiego di questo sottoprodotto per la produzione di pellet, biochar, materiali per la bonifica delle acque reflue e mattoni.



2.1 ESEMPI DI VALORIZZAZIONE DELLE TREBBIE DI BIRRA

Nell'ultimo ventennio l'interesse delle aziende brassicole è orientato sempre più verso il concetto di economia circolare. I costanti nuovi progressi tecnologici hanno permesso di ottenere notevoli risparmi nei consumi di acqua, energia, tempo e impegno logistico (paragrafo 1.1).

Nell'ottica di indagare e ottimizzare le possibili risorse provenienti da questa produzione, l'Associazione Istituzionale "The Brewers of Europe", che riunisce più di cinquemila associazioni europee di birrai, ha realizzato una piattaforma online sulla sostenibilità nel settore della birra: Il Sustainability Forum 2020 [1]. L'obiettivo è promuovere nuove iniziative per incoraggiare pratiche sostenibili nei processi di produzione della birra, nelle catene di approvvigionamento e nel modo in cui la birra viene consumata, aderendo così agli obiettivi del nuovo Green Deal europeo [2]. Il Sustainability Forum si concentra su cinque macro aree: soluzioni per costruire birrifici efficienti dal punto di vista energetico; soluzioni di packaging innovative e rinnovabili; eliminare gli sprechi d'acqua come principale ingrediente; soluzioni per il reimpiego dei sottoprodotti uscenti

dal processo e utilizzo di trasporti a emissioni zero. Questi obiettivi hanno animato trentadue startup e orientato nuove iniziative tra cui: tecniche di depurazione dell'acqua reflua di processo per il reimpiego nel birrificio, e nuovi metodi per la valorizzazione del lievito esaurito come vitamina B per sfruttarne le componenti nutrizionali. In questo contesto, le trebbie di birra vengono destinate al consumo umano come farinacei; un esempio è 'Trebenbrot', pane tedesco composto con 1/3 di Marc, farina 100% di trebbie di birra [3]. Tra le startup vale la pena citare "Trebo", iniziativa italiana che punta a creare sinergie tra il settore dei microbirrifici e quello dei farinacei. Nasce con l'obiettivo di recuperare direttamente dai birrifici le trebbie di birre ricavandone farina per una vasta gamma di prodotti da forno [4]. Questo progetto racchiude in sé un sistema di recupero (essiccazione) innovativo del sottoprodotto. Le trebbie di birra vengono prima disidratate mediante essiccatore centrifugo, macinate, e infine setacciate, ottenendo lo sfarinato della granulometria desiderata.

Altra iniziativa a marchio brevettato è "Ley", farina integrale con il 42% di fibra che viene usata sia in impasti dolci che salati [5].

Effettuando delle ricerche sul sito "www.orbit.it" sono disponibili altri brevetti inerenti al reimpiego di questo sottoprodotto. Nello specifico, nel 2009 è

stato depositato un brevetto che prevede la conversione delle trebbie di birra in etanolo. Questa conversione prevede un pretrattamento delle trebbie di birra con acido solforico per degradarne la parte emocellulosica, poi l'idrolizzazione per convertire l'amido e la componente cellulosa in zuccheri semplici, la fermentazione di questi ultimi grazie all'azione di un microbo produttore di etanolo come lo *Zymomonas mobilis* o il *Pichia pastoris* e la successiva distillazione della miscela acqua/etanolo (rispettivamente 35% e 60% p/p) e disidratazione dell'etanolo così ottenuto [S. Birkmire et al., 2009].

L. Motitshke invece già nel 1991 brevettò l'integrazione di trebbie di birra in composizioni medicinali e cosmetiche. Gli estratti del sottoprodotto sono stati ottenuti con CO₂ e N₂O e utilizzati per la composizione di medicinali a uso esterno per il trattamento di alcune malattie della pelle come dermatite atopica, seborrasi, micosi ecc. e una composizione cosmetica per il trattamento della pelle secca e irritata. Su questa linea di pensiero, nel 2018 nasce "Sorgente di birra" unica linea italiana di cosmetici, comprendenti creme, tonici, solari, la cui principale materia prima sono le trebbie di birra [6].

Un'altra ricerca vede questo sottoprodotto come fonte di azoto nella fermentazione dell'acido lattico [J. Pejcin et al., 2019], grazie alla presenza di

proteine residue nei chicchi esausti. In particolare, l'aggiunta del sottoprodotto, ha aumentato la concentrazione di ammino azoto libero (FAN) del terreno portando la resa dell'acido lattico all'89%. Schildbach [1992] ha sperimentato le trebbie come substrato per la coltivazione di funghi come *Pleurotus*, *Agrocybe* e *Lentinus*. In questo caso le trebbie di birra vengono risciacquate, favorendo la crescita di questi funghi dovuta dall'alto contenuto proteico, all'umidità e alle loro proprietà fisiche (la dimensione delle particelle, il peso in volume, la densità specifica, la porosità e la capacità di ritenzione idrica).

L'applicazione maggiormente diffusa è quella che utilizza questo sottoprodotto come mangime per bovini e pollame, principalmente per l'alto contenuto di proteine (20%) e fibre (70%).

McCarthy [2012] ha dimostrato che quando il sottoprodotto viene somministrato agli animali, miscelato con fonti di azoto a basso costo come l'urea, può fornire tutti gli amminoacidi essenziali, generando effetti positivi sulla produzione e composizione del latte. Questo studio conferma anche un aumento di crescita negli allevamenti di pollame e pesci, nutriti con l'aggiunta di trebbie di birra.

Le principali criticità riscontrate sono due: un'eccessiva offerta di trebbie di birra rispetto alla domanda degli allevamenti;

e, in base agli studi effettuati, tale dieta risulterebbe poco digeribile per il bestiame e sarebbe complesso garantire l'equilibrio microbico delle trebbie.

Infatti, questo sottoprodotto, allo stato umido (circa l'80% di umidità relativa) rappresenta un substrato ottimale per i microbi, che possono rapidamente colonizzarlo e comprometterne l'integrità per il suo successivo utilizzo come alimento. Inoltresonostatirilevatiproblemi associati a questo deterioramento microbico che riguardano: in primo luogo, la possibilità di crescita di microbi patogeni, in secondo luogo, l'esaurimento dei suoi naturali nutrienti da parte di microrganismi di deterioramento [J. Gil-Martinez et al., 2020]. L'umidità è la principale causa della marcescenza: è stato studiato che dopo due giorni a 25 °C, le trebbie subiscono attacco da parte di batteri mesofili, batteri anaerobici e funghi a 10^7-10^8 CFU/g [J. Gil-Martinez et al., 2020]; l'unica soluzione per la conservazione è l'essiccazione che le rende microbiologicamente stabili per tempi lunghi. Questo processo può essere compiuto in vari modi:

- Essiccatore a tamburo rotante, il prodotto viene inserito nel tamburo di acciaio tramite una delle quattro aperture e prelevato una volta raggiunta

l'umidità minima, dopo essere stato sottoposto a passaggi di aria calda [S.I. Mussatto et al., 2006].

- In forno. M. Santos et al. [2003] hanno essiccato otto campioni di trebbie umide in forno per 18 h a 60 °C, successivamente questi sono stati comparati con campioni liofilizzati e congelati. L'essiccazione in forno è risultata simile alla liofilizzazione, tuttavia, quella in forno, è stata preferita in quanto economicamente più vantaggiosa.

- Pressatura e confezionamento sotto vuoto. El-Shafery et al. [2004] hanno studiato come essiccare le trebbie utilizzando una filtropressa a membrana accoppiata all'essiccazione sotto vuoto, con un processo che dura 115/180 minuti. Il residuo, dopo essere stato lavato in acqua, è stato pressato e inserito nella filtropressa. La filtrazione è stata effettuata a diverse pressioni di alimentazione (3-5 bar). Successivamente le trebbie sono state compresse permettendo la fuoriuscita dell'acqua di pressatura, è stata scaricata la pressione e la filtropressa aperta, distanziando le piastre di filtrazione e facendo uscire le trebbie sotto forma di torte con spessore medio di 0.7cm, messe sotto vuoto per circa 30 minuti; dopo due giorni ogni torta, posta a temperatura ambiente,

raggiunge un'umidità di circa il 10%.

- Al naturale: metodo tradizionale vincolato però alla temperatura media e all'umidità relativa media dell'aria a cui le trebbie sono sottoposte.

Nonostante tutte le possibili applicazioni descritte attuabili con diversi metodi di essiccazione, il loro utilizzo è ancora limitato.

In Italia solo il 30% di trebbie di birra viene riutilizzato principalmente come mangime nell'alimentazione animale, il 70% restante, invece, viene gettato in discarica come rifiuto speciale. Nei paragrafi successivi vengono approfondite alcune sperimentazioni per il riuso delle trebbie di birra, che hanno fornito spunti importanti per il presente studio.

2.2 BIRRIFICIO WILDWOOD, BIRRIFICIO TUNWENI SORGGHUM: ESEMPI DI RECUPERO GLOBALE NELL'AZIENDA BRASSICOLA

Gunter Pauli, fautore della Blue Economy, nel 1994 inizia ad analizzare i birrifici come settore prioritario per l'applicazione del concetto di Emissioni Zero, determinato a trovare nuove strade per generare maggiori introiti per le aziende brassicole dalle risorse disponibili in loco. La visione di Pauli per il riciclo nei birrifici è molto ampia, intendendo a 360° riutilizzare: le trebbie, l'acqua, la CO₂ prodotta dal processo e il lievito esausto [G. Pauli, 2010]. Individua, così, quattro possibili strade

SOTTOPRODOTTI	METODI DI UTILIZZO
Crosta di malto generata durante la fase di lavorazione	Foraggio
Fanghi	Fertilizzante organico, compost ecc.
Rottame di vetro	Bottiglie riciclate, bottiglie nuove, materiali da costruzione.
Residui di materie prime raccolte	Foraggio
Lievito di birra esaurito	Prodotti farmaceutici come Ebios e materiale alimentare come estratto di lievito
Cartone/ carta	Carta riciclata
Tavolozze dei rifiuti	Trucioli di carburante
Etichette chaff	Carta riciclata
Rifiuti di plastica	Plastica riciclata
Rottami di acciaio	Acciaio riciclato
Rottami di alluminio	Lattine di alluminio, prodotti elettrici
Olio esausto	Olio equivalente a olio pesante di grado B
Altro	Le parti in acciaio inossidabile vengono riciclate e le parti in gomma vengono utilizzate come fonte di calore

TABELLA_1 Esempi di metodi di utilizzo per sottoprodotti e rifiuti
Fonte: www.Asahigroup.com

NOTE

[1] <https://brewing4.eu/#ourareasoffocus>

[2] Il Green Deal europeo è un piano d'azione dell'UE che ha l'obiettivo di promuovere l'uso di risorse attraverso il passaggio da un'economia lineare ad una circolare con il fine di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.

[3] <https://www.chefkoch.de/rezepte/656451167319023/Treberbrot.html>

[4] <https://www.sfridoo.com/2020/07/21/video/mangiare-la-birra-in-unottica-di-economia-circolare-ecco-trebe/>

[5] https://ley.circularfood.it/?gclid=CjwKCAjwnPOEBhA0EiwA609Reco-di0KwV_dCoRAQteTkESSFtRdmdMYR2qygQeVTJKQydCx4NGf-RoCwzYQAvD_BwE

[6] <https://www.giornaledellabirra.it/approfondimenti/dalla-birra-alla-cosmesi-nasce-la-prima-linea-dedicata-al-corpo-e-alla-bellezza-100-made-in-italy/>

supplementari per il riuso dei sottoprodotti generati, con il fine di aumentarne la competitività sul mercato e la produzione di più prodotti da parte dei birrifici stessi. Una delle prime aziende a recepire questo messaggio è stato il gruppo Asahi, fabbrica (anche di birra) giapponese che ad oggi è riuscita a raggiungere il 100% di riciclaggio dei sottoprodotti in 33 delle sue aziende. Pauli ebbe modo di visitare il Laboratorio Asahi Food & Healthcare dove le trebbie di birra, grazie alla percentuale di cromo presente, vengono trasformate in integratori, con l'effetto di ridurre il glucosio nel sangue (TABELLA_1). In quest'ottica merita sicuramente un accenno il birrificio **WildWood** [7] che nasce nel Montana dopo gli esperimenti di Pauli in Cina, Giappone e Stati Uniti. Questo birrificio è diventato un riferimento per ZERI [8]. Il birrificio produce birra biologica e le trebbie vengono riutilizzate come substrato per la coltivazione di funghi per la vendita locale e regionale. Il substrato di funghi usato alimenta vermi che diventano mangime per polli e pesci. Le acque reflue inserite in un bio-digestore producono metano che viene utilizzato come combustibile per il riscaldamento o per la generazione di energia. Acqua e sostanze nutritive del digestore alimentano alghe come la Spirulina, Fitoplancton e altri organismi che diventano input per la policoltura. L'anidride carbonica derivante dalla fermentazione e dalla coltivazione dei

funghi viene utilizzata in una serra. Un piccolo impianto di maltazione, all'interno del birrificio, fornisce orzo biologico di alta qualità e malto di frumento per il birrificio Wildwood e altri della zona. Il calore prodotto nel processo di produzione della birra viene recuperato e utilizzato per riscaldare edifici, digestori, stagni di acquacoltura, serre, essiccare funghi e guidare altri processi di produzione [G. Pauli, 2015].

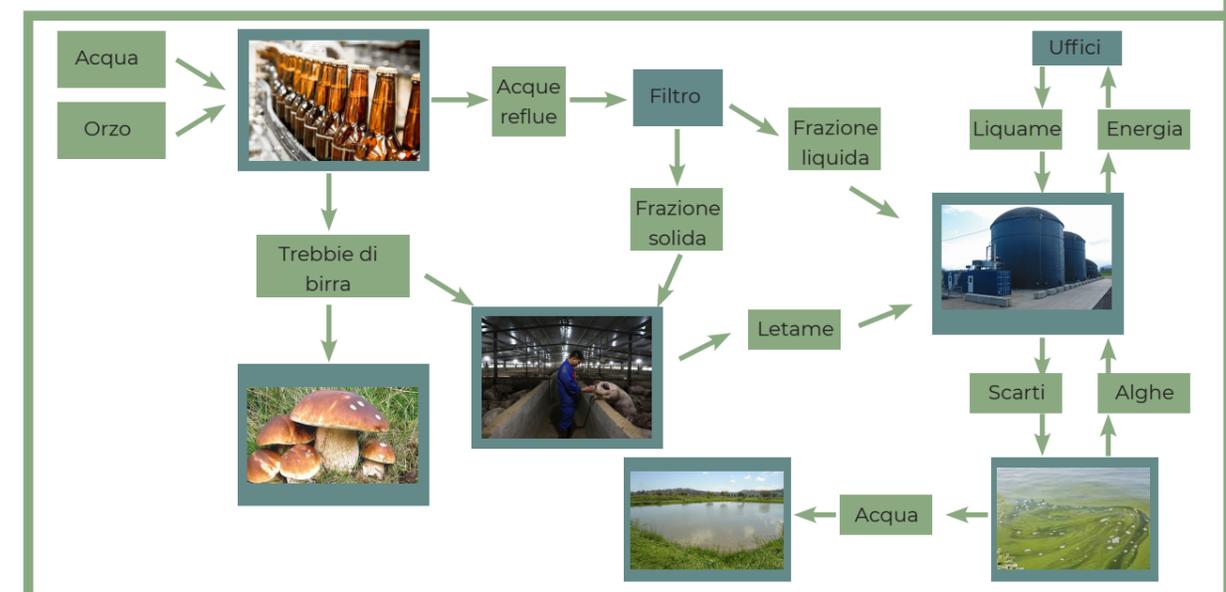
Altro pilone portante per "i birrifici futuri" è l'azienda brassicola **Tunweni Sorghum** [9], il complesso è formato anche da: un'azienda di funghi e vermicoltura, una casa per animali, vasche di decantazione/filtraggio/pozzetto, un bio-digerente, stagni poco profondi di alghe, stagni profondi per pesci e un terreno adiacente di 600 ha con alberi di arance e mango. Il Tunweni Sorghum Brewery produce birra di sorgo (5% di alcol) e il makeu, una bevanda analcolica. La birra invenduta viene restituita al birrificio e aggiunta al flusso di acque reflue. Le trebbie di birra vengono utilizzate per l'alimentazione degli animali, come substrato per la coltivazione dei funghi, nella vermicoltura e nella distillazione di alcol; precisamente il 50% come mangime per il bestiame e l'altro 50% viene miscelato a erba tagliata e immerso in acqua per fornire il substrato per la coltivazione dei funghi. Il fungo Mycelia digerisce la cellulosa del chicco esausto e la trasforma in alimento ad alto contenuto proteico consumabile

dai lombrichi; i bulbi di funghi dopo la fruttificazione vengono successivamente utilizzati in coltura. Le acque reflue del birrificio, che comprendono circa 12m³ di lavaggio e disinfettanti a settimana, più la birra residua, fluiscono nei serbatoi di sedimentazione/filtrazione. Il fluido scorre nel bio-digestore anaerobico, che opera a temperature comprese tra 35-40°C dove confluiscono anche le acque reflue dell'edificio per uffici e il letame della stalla fino a raggiungere i 200 litri di fluidi al giorno. Il bio-digestore produce metano. Successivamente a Songhai in Benin, Africa occidentale, il gas viene compresso e immagazzinato in serbatoi per essere utilizzato nella produzione di energia per l'illuminazione, il riscaldamento, la propulsione e altri tipi di generazione di energia. Il deflusso dal digestore scorre nei bacini di alghe poco profondi, dominate dalla Chlorella aggiunte poi al bio-digestore. L'acqua dei letti di alghe viene utilizzata per irrigare

il prato, gli alberi e varie colture. Il resto del deflusso dai letti di alghe scorre negli stagni dei pesci [FIGURA_1].

Questi rappresentano l'esempio di birrifici che nascono per non produrre rifiuti; in questi casi i residui di produzione vengono, infatti, sfruttati all'interno delle aziende brassicole sebbene queste abbiano ampliato il loro mercato di produzione. Ricordiamo però che l'intento del presente studio resta quello di generare sinergie con altre filiere per un modello di economia circolare nel senso più ampio del concetto. Queste soluzioni di "birrifici futuri" rappresentano un primo passo per il concetto sviluppato da ZERI in quest'ambito, trattato nel paragrafo successivo. Queste sperimentazioni hanno direzionato l'attenzione verso il potenziale utilizzo dei sottoprodotti delle aziende brassicole in vari campi d'impiego.

NOTE
 [7] <http://www.wildwoodbrewing.com/integrated-system/>
 [8] ZERI acronimo di "Zero Emissions Research and Initiatives"
 [9] <https://www.cyclifier.org/project/tunweni-beer-brewery/>



FIGURA_1 Diagramma del flusso del processo del birrificio Tunwei
 Fonte: <https://www.cyclifier.org/project/tunweni-beer-brewery/>

2.3 FONDAZIONE ZERI:

DALLE TREBBIE AL PANE E AL SUBSTRATO PER LA CRESCITA DEI FUNGHI

Se la Blue Economy rappresenta l'azione, ZERI ne è la filosofia ispiratrice.

Zero Emissions Research and Initiatives (ZERI) è una rete globale di menti creative, che partono dall'utilizzo di nozioni scientifiche per cercare soluzioni sostenibili per la società.

"-ZERI si impegna a lavorare verso un nuovo paradigma.

-ZERI sta contribuendo alla creazione di una coscienza globale radicata nella ricerca di soluzioni pratiche basate su sistemi naturali sostenibili.

-ZERI crede nel lavorare con molti problemi contemporaneamente. Questo approccio non solo facilita la sinergia di più soluzioni, ma richiede anche diversi approcci organizzativi. Le istituzioni sono sfidate a pensare "fuori dagli schemi", facilitando le operazioni interdipartimentali.

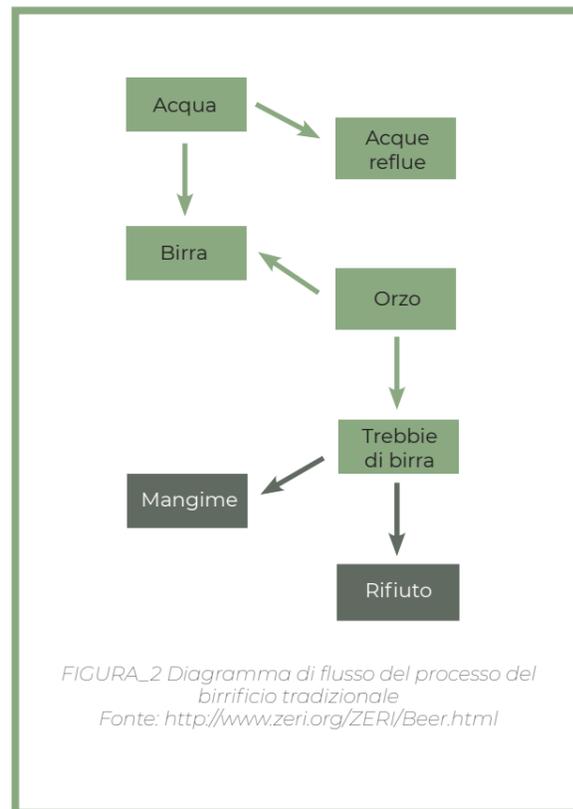
-ZERI cerca soluzioni sostenibili che siano pratiche, economiche e informative.

-ZERI crede nella sfida alla mentalità dominante radicata nel principio di scarsità e consapevolezza della povertà.

-ZERI crede nella costruzione di un nuovo tipo di leadership. Le attuali

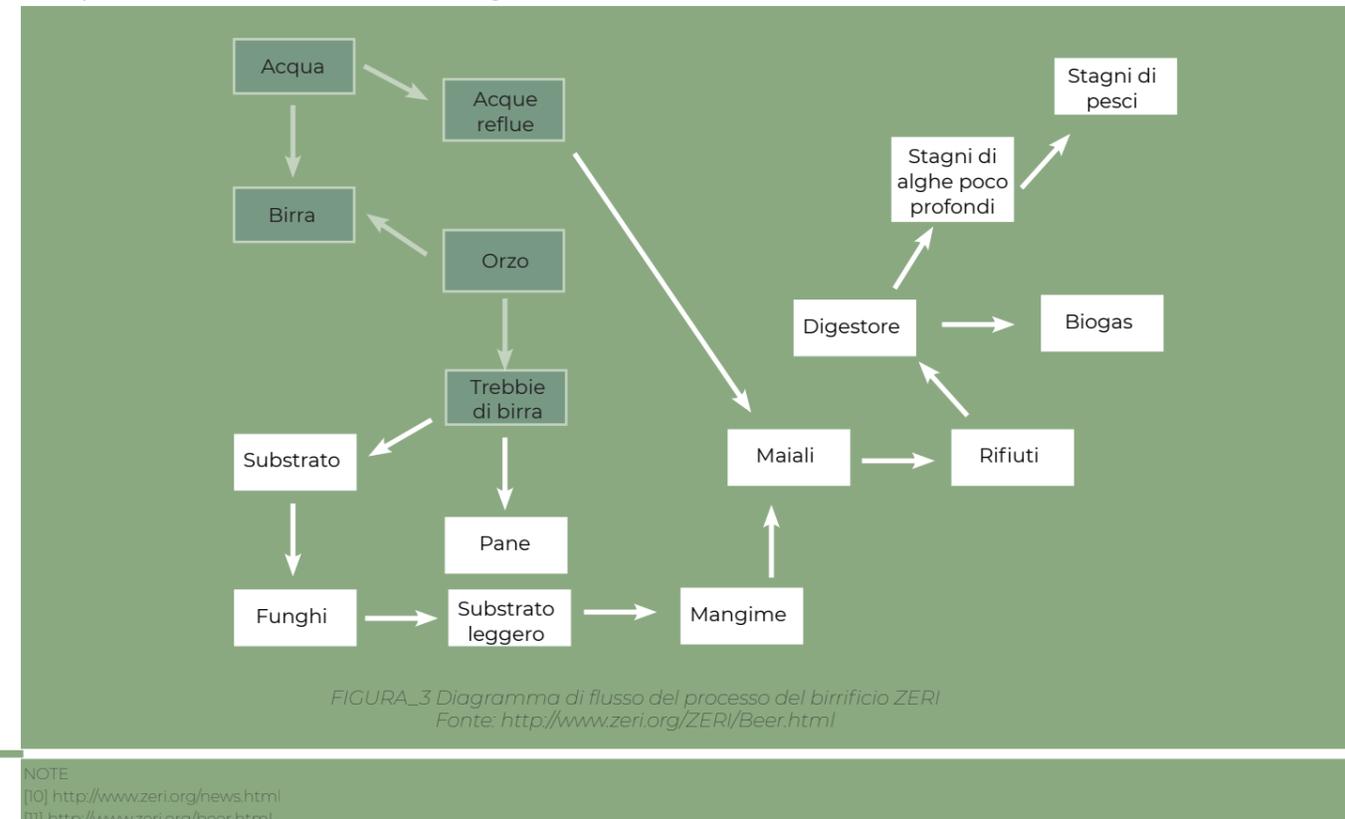
nozioni di leadership si basano sul potere e sul controllo. Andare oltre significa concentrarsi sulla creazione di una generazione futura, lavorando con menti giovani che credono in "sogni impossibili". Stimolando la creatività e l'innovazione, ZERI crede nell'affermare il potenziale creativo di ogni individuo e il suo contributo unico allo sviluppo di se stesso e delle proprie comunità." [10].

Sulla base delle esperienze di Gunter Pauli, ZERI parte da un diagramma (FIGURA_2) che illustra il flusso di processo tradizionale di un birrificio. È di facile intuizione che il valore aggiunto generato dai rifiuti in questo grafico è molto basso, o addirittura negativo se il birrificio deve pagare per sbarazzarsi delle acque reflue e delle trebbie di birra. Da qui, ZERI, ha



rielaborato un nuovo modello generale per un birrificio (FIGURA_3) al fine di ricercare modi alternativi per utilizzare i sottoprodotti. Le trebbie di birra, ricche di fibre e proteine, sono viste come un'ottima aggiunta alla classica farina per il pane; ma se mescolate con altre fibre, come la paglia di riso, possono diventare substrato per la coltivazione dei funghi. Il vantaggio di coltivare funghi sul sottoprodotto è che essi rendono i chicchi esausti più digeribili per il bestiame aumentando in contemporanea il loro contenuto proteico. Questo è il primo passo che consente a ZERI di generare un valore aggiunto a questo scarto. Successivamente, i rifiuti del bestiame vengono disposti in un digestore con l'acqua di scarico del birrificio. Il digestore

è un contenitore in cui non può entrare aria, al fine di creare condizioni di digestione anaerobica. I batteri anaerobici sono più attivi dei batteri aerobici presenti nei normali stagni aerobici o fosse settiche. Sono in grado di convertire il 60% della materia organica nelle acque reflue in nutrienti in 5-6 giorni. Un digestore produce un effluente superiore con il surplus di biogas (CO₂+CH₄) o metano, che può essere utilizzato come fonte di energia. Il digestore genera due uscite: biogas e una soluzione nutritiva. La soluzione nutritiva alimenta alghe che attraverso la fotosintesi, la digeriscono, diventando mangime per i pesci. ZERI così utilizza tutti i nutrienti, le proteine e le fibre delle trebbie di birra e l'acqua di refluo del processo [11].



NOTE
[10] <http://www.zeri.org/news.html>
[11] <http://www.zeri.org/beer.html>

2.4 ENTE CREA: DALLE TREBBIE AL BIOCHAR E AL PELLETT

Il Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) [12] nel contesto delle "Azioni per la diffusione dei processi cooperativi nelle aree rurali", della Rete Rurale Nazionale 2014-2020, ha avviato il progetto "Birraverde" con l'obiettivo di aumentare competitività e sostenibilità delle produzioni brassicole regionali recuperando gli scarti generati dal processo (FIGURA_4). Nell'ambito di

questo progetto pilota, nel 2016, inizia lo studio sul possibile riuso delle trebbie di birra; analizzando queste ultime essiccate come materiale primario nei processi di biogassificazione e/o gassificazione per la produzione di biochar e syngas [G. Speranzio et al., 2017].

Il biochar prodotto (90% di carbonio) è caratterizzato da una notevole porosità, ciò favorisce la ritenzione idrica e gli elementi nutritivi nel suolo, aumentandone le proprietà meccaniche. Grazie alla struttura compatta che lo caratterizza non viene degradato dai microrganismi presenti nel terreno. Il carbonio viene stoccato nel suolo senza

tornare in atmosfera sotto forma di CO₂, risulta quindi essere carbon negative in quanto ogni kg di carbone vegetale sottrae all'atmosfera 3 kg di CO₂.

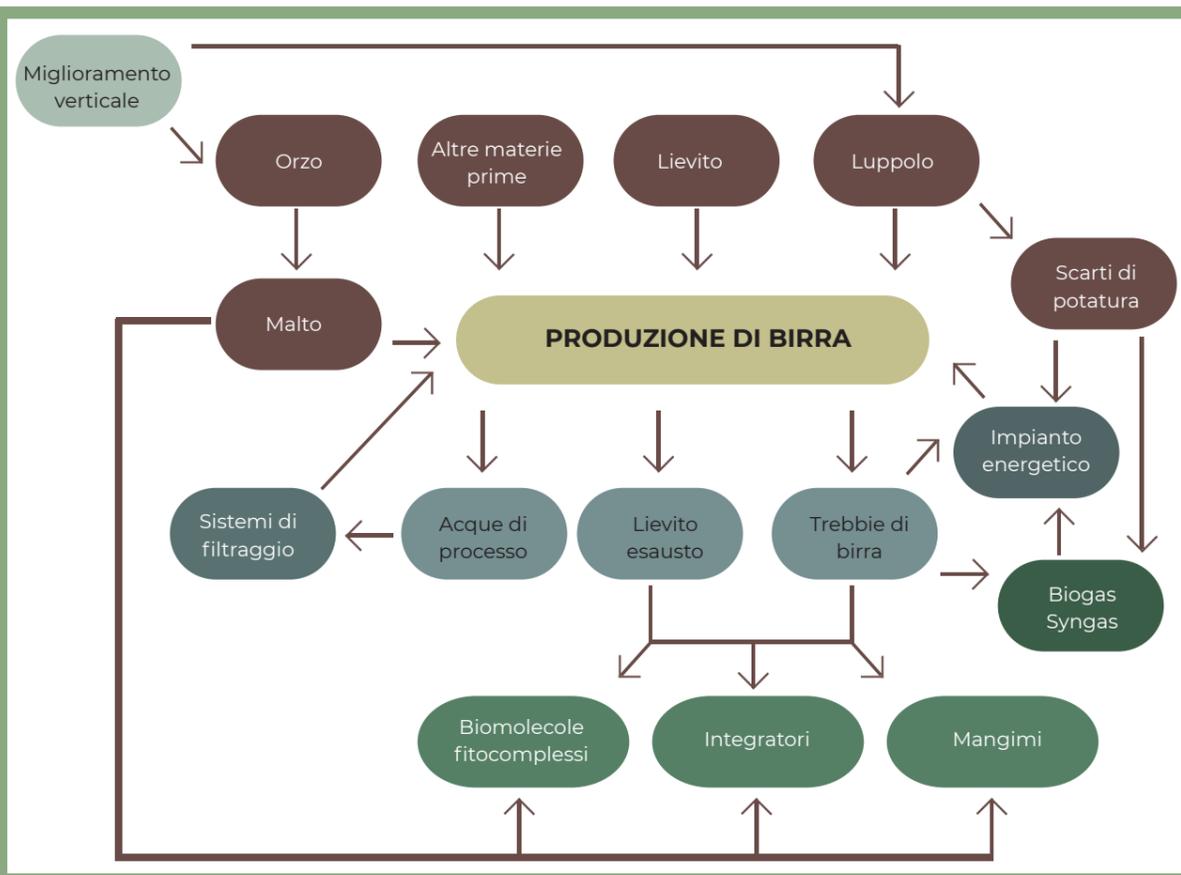
La sperimentazione è stata effettuata presso il laboratorio Attività Sperimentali Energie Rinnovabili e Biomasse del CREA-ING [13].

Tre campioni, da circa 1 kg ciascuno, recuperati presso tre birrifici laziali, sono stati essiccati in un forno a 105±1 °C per 78 ore, poi predisposti in mulino per l'affinamento, ottenendo campioni di pezzatura 4 mm e 2 mm. Per valutare il Potere Calorifico Inferiore (LCV), i campioni essiccati di trebbie sono stati sottoposti ad analisi elementare e posti in un calorimetro a bomba Mahler. Il contenuto di ceneri è stato analizzato riscaldando i campioni di trebbie di birra essiccate e macinate, con granulometria massima 2mm, a 550°C ± 1 °C per 8 ore in un forno a muffola. Sono state eseguite tre repliche analitiche per tutti i parametri analizzati e per ogni campione. Mediante l'analisi elementare del contenuto di carbonio, idrogeno ed azoto è stato stabilito il potere calorifico superiore ed inferiore per determinare la qualità della biomassa e per valutarne le emissioni inquinanti (NO_x) (TABELLA_2). In collaborazione con i tecnici della BLUCOMB S.R.L. è stato prodotto pellet di diametro 6mm da trebbie di birra essiccate (FIGURA_5) per uso energetico, mangimistico e biochar.

PROVA	RISULTATO
Umidità sul secco	6.4 % s.s.
Umidità sul tal quale	6.0 % t.q.
Contenuto di ceneri	7.0 % s.s.
C	46.01 %
H	9.45 %
N	4.34 %
S	-
Potere calorifico sup.	17.11 MJ/kg
Potere calorifico inf.	14.12 MJ/kg

TABELLA_2 Analisi del contenuto di Carbonio, Idrogeno e Azoto.
Fonte: Report: Criticità e opportunità per lo sviluppo sostenibile della filiera brassicola.

Per la produzione di pellet è stato utilizzato un impianto su piccola scala, ottenendo tre diversi tipi di pellet. Nella prima prova, i pellet sono stati preparati partendo dalle trebbie con umidità pari al 20-25% di umidità relativa utilizzando tre cicli di macinazione. Nella seconda prova, i pellet sono stati sperimentati utilizzando trebbie di birra (secche) con umidità al 15-18% attraverso un solo passaggio nella pellettatrice. Nella terza prova, i pellet sono stati prodotti



FIGURA_4 Sostenibilità circolare della filiera brassicola
Fonte: Report: Criticità e opportunità per lo sviluppo sostenibile della filiera brassicola



FIGURA_5 Pellet da trebbie di birra essiccate.
Fonte: Report: Criticità e opportunità per lo sviluppo sostenibile della filiera brassicola.

sempre dalle trebbie essiccate ma con l'aggiunta di amido al 3% come legante e con un solo passaggio nella pellettizzatrice. Ed è stato poi valutato l'impatto di queste variabili sulle caratteristiche e la durata di conservazione dei prodotti finali.

I pellet prodotti hanno mostrato tutti la stessa capacità di mantenere le loro caratteristiche fisiche invariate nel tempo e una buona shelf life a medio e a lungo termine senza osservare fenomeni di deterioramento.

Per quanto riguarda la produzione di biochar invece sono state condotte prove di pirolisi e/o microgassificazione che possono raggiungere livelli di carbonizzazione di 400-500 °C; utilizzando il fornello pirolitico Elsa D-17 sia con trebbie sfuse secche (FIGURA_6) sia con trebbie in pellet (100%) (FIGURA_7) con una produzione di Biochar =21%.

La percentuale di rendimento del biochar è stata determinata dalla seguente equazione:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{(\text{peso del biochar})}{(\text{peso della materia prima})} \times 100 \%$$

I risultati non hanno evidenziato differenze significative in termini di resa causate dal diverso tipo di stoccaggio di trebbie di birra utilizzato. Inoltre grazie alla capacità di adsorbimento delle trebbie di birra si è riscontrato nel biochar prodotto un aumento del potenziale

per immobilizzare i metalli pesanti, pesticidi, erbicidi e ormoni, per prevenire la lisciviazione di nitrati e batteri fecali nei corsi d'acqua, riducendo le emissioni di N₂O e CH₄ dal suolo.

Il risultato di questo studio porta a due proposte di modelli (FIGURA_8 e FIGURA_9) che dimostrano la possibilità di ottenere benefici discreti in grado di migliorare l'equilibrio economico dell'impresa brassicola, evitando allo stesso tempo il problema dello smaltimento di questi rifiuti, che a volte potrebbe rappresentare un aumento dei costi per i microbirrifici.

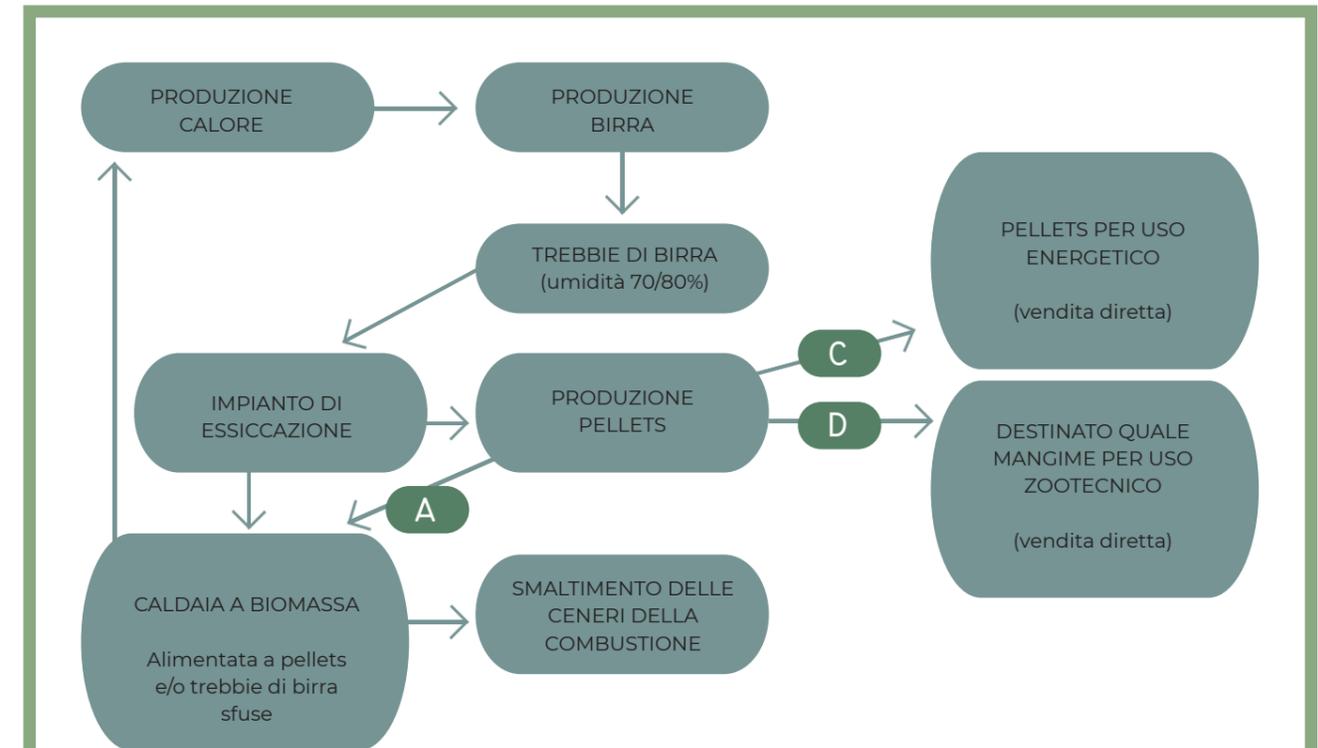


FIGURA_6 Biochar ottenuto da trebbie sfuse.
Fonte: Report: Criticità e opportunità per lo sviluppo sostenibile della filiera brassicola.

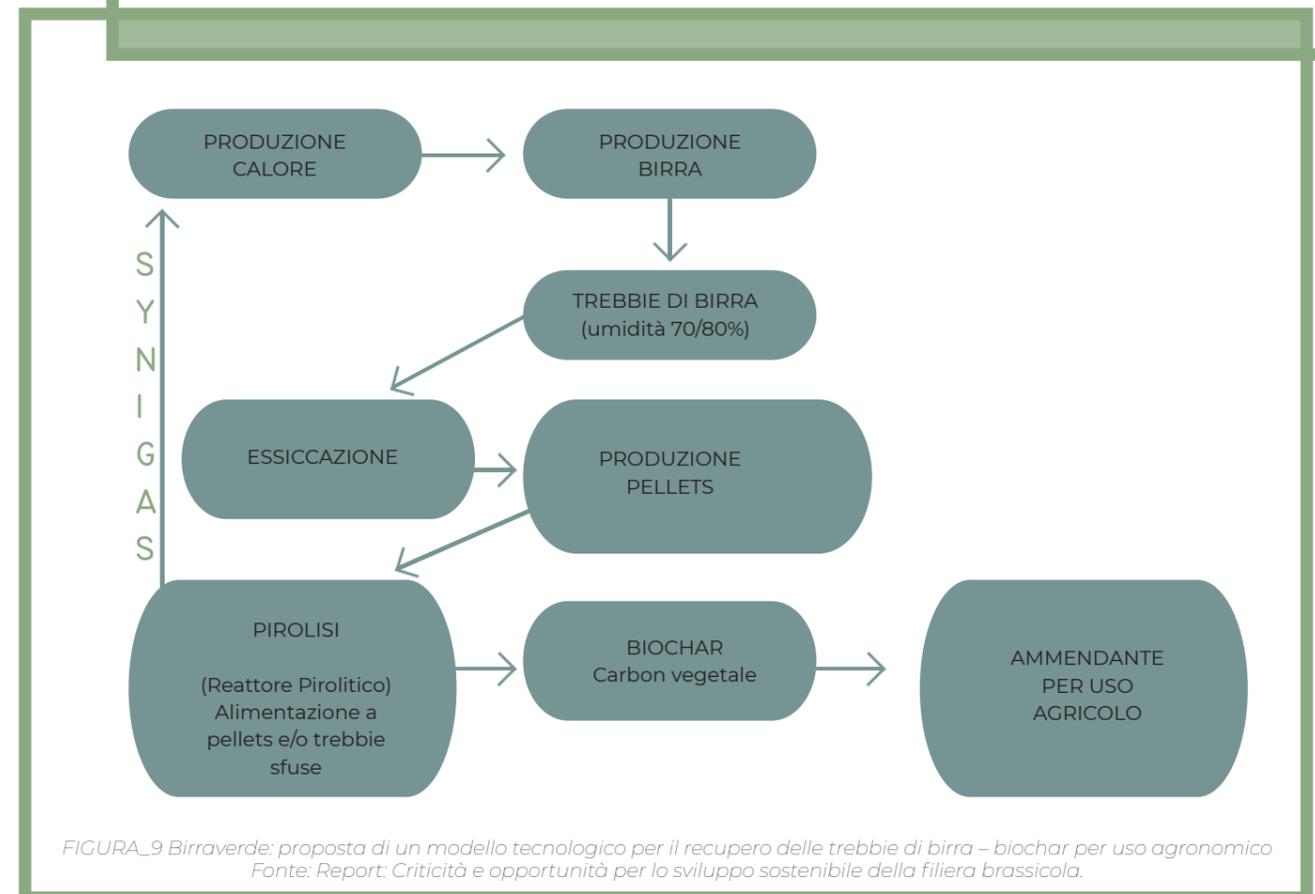


FIGURA_7 Biochar ottenuto da pellet 100% trebbie.
Fonte: Report: Criticità e opportunità per lo sviluppo sostenibile della filiera brassicola.

NOTE
[12] Il CREA è un ente nazionale di ricerca fondato nel 2015 dall'unione del Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura (CRA) e dell'Istituto nazionale di economia agraria (INEA)
[13] CREA-ING: Monterotondo, Roma, Italia.



FIGURA_8 Birraverde: proposta I modello tecnologico per il recupero delle trebbie di birra – pellet per usi energetici
Fonte: Report: Criticità e opportunità per lo sviluppo sostenibile della filiera brassicola.



FIGURA_9 Birraverde: proposta di un modello tecnologico per il recupero delle trebbie di birra – biochar per uso agronomico
Fonte: Report: Criticità e opportunità per lo sviluppo sostenibile della filiera brassicola.

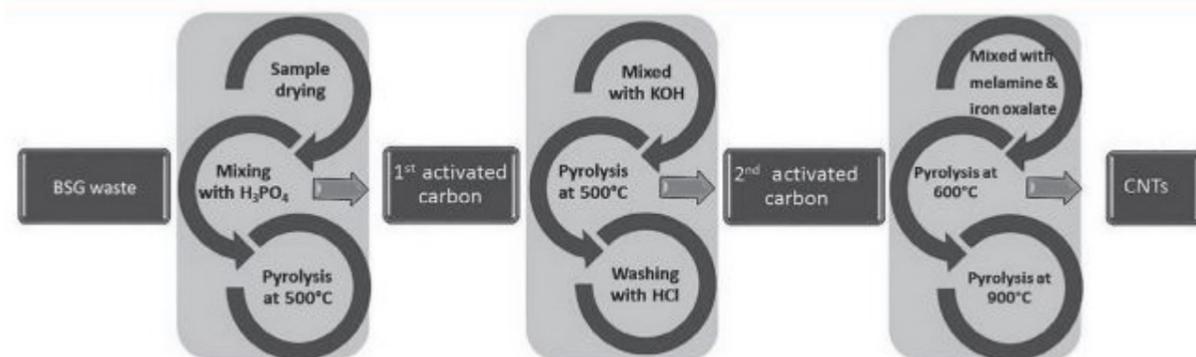
2.5 SCHOOL OF CHEMISTRY DI BELFAST: LE TREBBIE DI BIRRA AL CARBONE ATTIVO

I ricercatori della School of Chemistry della Queen's University di Belfast guidati da Ahmed Osma hanno sviluppato un metodo per convertire le trebbie di birra in carbone attivo (AC) e nanotubi di carbonio (CNT). Entrambi i materiali prodotti (FIGURA_10) sono stati testati per la rimozione di metalli pesanti, e successivamente utilizzati per la bonifica delle acque [A. Osma et al., 2019].

Il carbone attivo, oggi, viene utilizzato per molti scopi tra cui la rimozione di sostanze organiche inquinanti, adsorbimento dei gas, di vapori e di liquidi e in un'ampia varietà di processi come la filtrazione,

la purificazione, la deodorizzazione e la decolorazione. Il carbone diventa "attivo" dopo un processo di attivazione che può essere di tipo fisico o chimico. L'attivazione chimica prevede una fase di carbonizzazione attraverso la pirolisi, seguita da una fase di ossidazione in cui la massa viene esposta ad alte temperature in atmosfere ossidanti. L'attivazione chimica, invece, viene eseguita miscelando la massa con un agente attivante prima di sottoporla a carbonizzazione. Gli agenti attivanti più utilizzati sono l'acido fosforico, l'idrossido di potassio, il cloruro di zinco e l'acido solforico.

Il campione di trebbie di birra utilizzato per la sperimentazione è stato recuperato presso la distilleria Bushmills Distillery di Bushmills (Regno Unito). L'essiccazione è stata eseguita in forno per tre giorni a una temperatura di 105 °C, successivamente la produzione di carbone attivo è stata effettuata attraverso la combinazione di due fasi di attivazione chimica. Secondo



FIGURA_10 Metodologia utilizzata per convertire le trebbie di birra in carbone attivo e nanotubi di carbonio
Fonte: A. Osma et al., 2019

Ravichandran et al. [2018] un'attivazione in due fasi della biomassa porta a un adsorbimento e a una superficie specifica maggiore rispetto all'attivazione ad unica azione; una volta che il carbone viene miscelato con un agente attivante e pirolizzato, subisce una seconda attivazione grazie all'uso di un secondo agente attivante.

Precisamente, 11.4kg di trebbie di birra sono stati miscelati con acido fosforico e acqua deionizzata, la miscela è stata poi riscaldata a 86°C utilizzando una piastra, mescolata per due ore e riessicata in forno per una notte a 110 °C. Il campione è stato posto in un reattore a letto fisso mantenendo una temperatura di 500°C per trenta minuti prima di essere lasciato a raffreddare a temperatura ambiente e poi sottoposto a un'ulteriore fase in forno. Nella seconda attivazione il campione è stato mescolato con idrossido di potassio in rapporto 1:3, poi riscaldato e mescolato a 86 °C per due ore, successivamente essiccato in forno e sottoposto a pirolizzazione per trenta minuti. Di seguito, lavato in acido cloridrico per rimuovere l'idrossido di potassio e con acqua calda per neutralizzare il Ph, prima di essere essiccato in forno. Il primo metodo di attivazione ha creato un AC poroso con un'area superficiale di 497,4 m²g⁻¹ e un volume dei pori di 0,285 cm³g⁻¹, la seconda attivazione ha permesso un ulteriore aumento dell'area superficiale e del

volume dei pori che sono risultati 692,3 m²g⁻¹ e 0,44 cm³g⁻¹.

Il carbone attivo prodotto è stato utilizzato nella preparazione di nanotubi di carbonio (CNT): strutture tubolari costituite da atomi di carbonio, aventi un diametro in nanometri ma una lunghezza di micrometri. Queste strutture possiedono molte proprietà tra cui l'alta resistenza meccanica, conduttività e la fluorescenza. Esistono diversi metodi per la produzione di CNT tra cui l'arco elettrico, la vaporizzazione laser, la sintesi mediante forno solare e la deposizione chimica in fase di vapore (CVD). In questo caso il carbone attivo uscente dalla seconda attivazione è stato utilizzato come fonte di carbonio nella preparazione, unito alla melamina, a sali di ferro e miscelato in metanolo per quattro ore prima del lavaggio con acqua deionizzata e l'asciugatura in forno a 80°C per una notte. I CNT sono poi stati raffreddati a temperatura ambiente, e alla fine del processo si classificano come nanotubi di carbonio a parete multipla idrofili (MWCNT).

I due campioni di carbone attivo e MWCNT prodotti sono stati testati come assorbenti di metalli pesanti nelle acque rimuovendo il 77% di piombo entro la prima ora di test.

Altri studi hanno sperimentato le proprietà di assorbimento delle trebbie di birra se associate a pretrattamenti chimici. Low K.S. et al., [2000] hanno

testato il comportamento come assorbente delle trebbie di birra relativamente al cadmio e al piombo in soluzioni acquose. Per la sperimentazione sono stati utilizzati tre campioni di trebbie di birra in soluzioni acquose con concentrazioni iniziali di Pb e Cd rispettivamente di 200 mg/l e 50 mg/l. I tre campioni hanno subito trattamenti chimici diversi: il primo è stato lavato con acqua distillata e successivamente essiccato in forno a 60 °C; il secondo è stato trattato con una soluzione di idrossido di sodio (NaOH) 0.5 M a temperatura ambiente per quattro ore, successivamente lavato ed essiccato; il terzo è stato trattato con 0.1 M di acido cloridrico (HCL) (TABELLA_3). Il campione trattato con HCL ha mostrato percentuali di assorbimento inferiori rispetto alle trebbie unicamente lavate in acqua, usate come campione di riferimento. Mentre il comportamento è stato migliorato se trattate con NaOH.

TRATTAMENTO	ABS. DI Pb (%)	ABS. DI Cd (%)
Acqua	62.0	69.6
HCL	34.5	18.6
NaOH	77.8	95.6

TABELLA_3 Assorbimento di Pd e Cd delle trebbie di birra.
Fonte: Sorption of cadmium and lead from aqueous solutions by spent grain

2.6 POLYTECHNIC INSTITUTE DI TOMAR: DALLE TREBBIE DI BIRRA A MATTONI BIO

La sperimentazione condotta al Politecnico di Tomar (E. Ferraz et al., 2013) ha dimostrato come l'utilizzo delle trebbie di birra all'interno della produzione dei mattoni sia in grado di migliorarne alcune proprietà come la resistenza meccanica, la porosità e la conducibilità termica. Il sottoprodotto è stato utilizzato come alternativa al tradizionale materiale sintetico (polistirolo espanso) per la formazione dei pori, che ha vincoli di legge per quanto riguarda le emissioni gassose degli effluenti.

I campioni utilizzati sono stati recuperati nella birreria Sociedade Central de Cervejas e Bebidas in Portogallo. Preventivamente essiccate, le trebbie di birra, sono state aggiunte all'impasto in tre diversi livelli di incorporazione (5, 10, 15% in peso) e successivamente confrontate con un campione di riferimento. Le trebbie di birra sono state setacciate e divise per granulometria, successivamente miscelate per ottenere un composto formato da parti uguali di sostanza a grana fine (0.1/1mm) e grana grossa (1/10mm). Il contenuto di acqua medio è del 74.2%, questo valore

consente una diminuzione del contenuto d'acqua necessario per la fabbricazione dei mattoni, ma umido non può essere utilizzato come principale combustibile. Il mattone di riferimento è composto al 40% dalla frazione argillosa (cioè $\leq 2 \mu\text{m}$), dal 37% di frazione limosa (tra 2 e 63 μm) e dal 23% di frazione sabbiosa (tra 63 μm e 2 mm). L'indice di plasticità di Atterberg è stato calcolato al 23%, con limite liquido al 44% e plastico al 21%.

Questo è stato confrontato con i tre campioni contenenti percentuali diverse di trebbie di birra, cotti a tre diverse temperature (900, 950, 1000°C) (FIGURA_11). Per quanto riguarda il comportamento ceramico del mattone di riferimento (0% in peso di sottoprodotto) ci sono valori di ritiro comuni dopo l'essiccazione (6,9%). Dopo la cottura, il ritiro totale aumenta con l'aumentare della temperatura e va dal 7,1% a 900°C all'8,5% a 1.000°C. Il ritiro di essiccazione dipende da vari fattori, in particolare dai minerali argillosi illitici e caolinitici dominanti e dall'elevato contenuto di frazione argillosa.

La TABELLA_4 sintetizza e confronta i



risultati ottenuti dalle sperimentazioni. La resistenza alla flessione meccanica a secco è di 8,3 MPa; dopo la cottura a 900, 950 e 1.000°C, sono stati ottenuti valori di rispettivamente 17,1, 17,5 e 18,4 MPa, mostrando un trend decrescente con quantità crescenti di trebbie incorporate. A 950°C, per 5, 10 e 15% di sottoprodotto, sono state osservate diminuzioni relative, rispettivamente del 15, 45 e 66%, rispetto alla pasta ceramica di riferimento. Inoltre, è stato notato, per la massima incorporazione di trebbie di birra, che i campioni cotti presentavano valori di resistenza meccanica alla flessione inferiori a quelli a secco. La ragione di questo deterioramento è dovuta all'alta concentrazione di vuoti, che influisce in modo significativo sulla microstruttura dei campioni.

I valori di assorbimento di acqua crescono proporzionalmente alle incorporazioni di trebbie di birra e si riducono con la diminuzione della temperatura di cottura, raggiungendo il valore massimo per l'incorporazione del 15% in peso a 900°C. I valori ottenuti hanno mostrato un miglioramento relativo dal 45 al 204% a 900°C, dal 45 al 195% a 950°C, e dal 59 al 242% a 1.000°C, con l'aggiunta di rispettivamente il 5% e il 15% in peso di sottoprodotto.

La densità apparente mostra un andamento lineare rispetto alla porosità aperta, diminuendo all'aumentare di percentuali di trebbie di birra: si è

ottenuta una diminuzione del 32% con l'aggiunta al 15% in peso di sottoprodotto a 950°C.

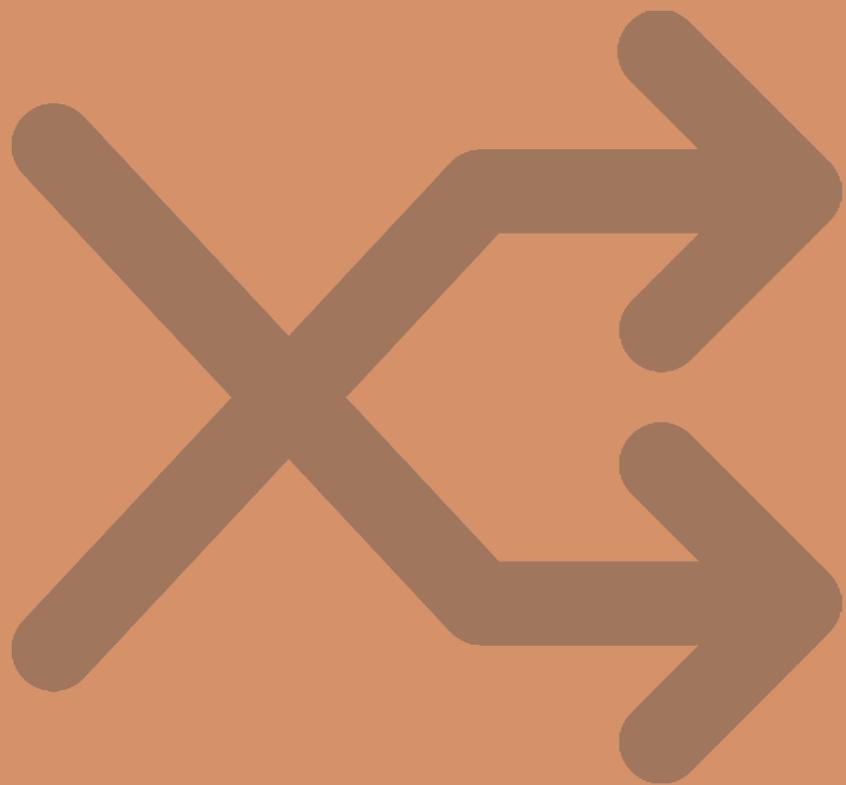
La conducibilità termica dei campioni con le diverse percentuali di sottoprodotto, a tutte le temperature di cottura è diminuita rispetto al campione di controllo. La variazione relativa più grande è stata ottenuta con il campione avente il 15% di trebbie di birra cotto a 1.000°C, con una diminuzione del 50%, passando da 0,75 a 0,37 Wm⁻¹K⁻¹, mentre la variazione relativa più bassa è stata

ottenuta con il 5% in peso a 900°C con una diminuzione del 28% da 0,64 a 0,46 Wm⁻¹K⁻¹; registrando, in generale, un aumento del valore proporzionale alla temperatura di cottura.

I campioni sperimentati non hanno mostrato cambiamenti nelle superfici, e nella colorazione rispetto a quello di controllo. Per le considerazioni studiate, il mattone con le proprietà migliori risulta essere quello ottenuto con l'incorporazione del 5% in peso di trebbie di birra cotto a 900°C.

PROPRIETÀ	0% trebbie	5% trebbie	10% trebbie	15% trebbie
CONTENUTO DI UMIDITÀ (% p.p)	18.5 ± 0.3	21.0 ± 0.2	24.0 ± 0.4	26.0 ± 0.3
essiccato a 105 °C				
RITIRO (%)	6.9 ± 0.1	5.8 ± 0.2	5.1 ± 0.2	5.0 ± 0.2
RESISTENZA A FLESSIONE (MPa)	5.3 ± 0.4	9.0 ± 0.5	7.8 ± 0.3	7.2 ± 0.5
cotto a 900 °C				
RITIRO TOTALE (%)	7.1 ± 0.2	6.0 ± 0.2	5.5 ± 0.3	5.3 ± 0.3
RESISTENZA A FLESSIONE (MPa)	17.1 ± 0.9	15.0 ± 0.8	9.7 ± 0.5	6.0 ± 0.6
ASSORBIMENTO D'ACQUA (% p.p)	11.2 ± 0.9	16.3 ± 0.2	25.6 ± 0.3	34.0 ± 0.5
APERTURA PORI (% vol)	22.8 ± 0.5	29.7 ± 0.4	40.7 ± 0.5	47.7 ± 0.6
DENSITÀ (kg/m ³)	2.04 ± 28	1.78 ± 20	1.55 ± 25	1.39 ± 24
CONDUCIBILITÀ a 10 °C (W/mK)	0.64 ± 0.03	0.46 ± 0.01	0.38 ± 0.02	0.33 ± 0.01
cotto a 950 °C				
RITIRO TOTALE (%)	7.6 ± 0.2	6.3 ± 0.3	5.8 ± 0.3	5.7 ± 0.3
RESISTENZA A FLESSIONE (MPa)	17.5 ± 0.9	14.9 ± 0.8	9.7 ± 0.5	5.9 ± 0.4
ASSORBIMENTO D'ACQUA (% p.p)	11.1 ± 0.1	16.1 ± 0.1	24.6 ± 0.5	32.8 ± 0.5
APERTURA PORI (% vol)	22.0 ± 0.4	28.7 ± 0.4	39.5 ± 0.4	47.1 ± 0.4
DENSITÀ (kg/m ³)	2.07 ± 25	1.81 ± 25	1.57 ± 19	1.41 ± 22
CONDUCIBILITÀ a 10 °C (W/mK)	0.64 ± 0.03	0.46 ± 0.01	0.38 ± 0.02	0.33 ± 0.01
cotto a 1000 °C				
RITIRO TOTALE (%)	8.5 ± 0.3	7.0 ± 0.3	6.5 ± 0.3	6.6 ± 0.3
RESISTENZA A FLESSIONE (MPa)	18.4 ± 0.8	15.0 ± 0.5	10.2 ± 0.5	6.3 ± 0.3
ASSORBIMENTO D'ACQUA (% p.p)	9.1 ± 0.3	14.5 ± 0.3	22.3 ± 0.5	31.1 ± 0.3
APERTURA PORI (% vol)	21.1 ± 0.5	27.8 ± 0.3	37.9 ± 0.5	46.8 ± 0.5
DENSITÀ (kg/m ³)	2.09 ± 24	1.85 ± 19	1.64 ± 23	1.43 ± 21
CONDUCIBILITÀ a 10 °C (W/mK)	0.75 ± 0.03	0.52 ± 0.04	0.44 ± 0.01	0.37 ± 0.01

TABELLA_4 Proprietà di mattoni con percentuali diverse di incorporazione di trebbie di birra
Fonte E.Ferraz et al., 2013



DALLE TREBBIE DI BIRRA A D.R.I.N.C. BEER

DESIGNING AND RECYCLING: AN INNOVATIVE NEW CONCRETE MADE WITH BEER

In questo capitolo viene descritta la prima attività sperimentale compiuta presso il LASTIN -Laboratorio Sistemi Tecnologici Innovativi- del Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino. La stesura segue le attività condotte in ordine temporale, dal reperimento di campioni di trebbie di birra fino al confezionamento di due miscele coese:

- il termointonaco D.R.I.N.C. B_25
- il termointonaco D.R.I.N.C. B_27.

3

3.1 REQUISITI GENERALI DELLA MALTA D.R.I.N.C.BEER

Le analisi condotte sulle caratteristiche chimico-fisiche delle trebbie di birra e sulle applicazioni testate hanno indirizzato il presente studio a sperimentare questo residuo agricolo come materia prima ecocompatibile in ambito edilizio. In particolare, è stato utile capire come questo sottoprodotto sia stato usato per aumentare la resistenza meccanica e la conducibilità termica quando integrato nella composizione di un mattone [E. Ferraz et al., 2016] e la sua capacità di assorbimento di sostanze organiche inquinanti [A. Osman et al., 2019].

Sul mercato sono ormai reperibili molti materiali edili la cui materia prima è costituita da sottoprodotti agricoli o industriali; l'utilizzo di questi residui facilita processi di produzione sostenibili, per questo motivo il settore edile è diventato uno dei principali fruitori di residui.

Uno dei fattori principali che ha spinto questo studio a occuparsi di un materiale specifico, è la composizione lignocellulosica [1] delle trebbie di birra. È stato studiato, infatti, come questa caratteristica migliori le qualità meccaniche di cemento e calce.

Il cemento non possiede una grande

resistenza a trazione, e questa sua fragilità interna può portare a scheggiature. Pertanto, per ridurre le possibilità di cedimenti fragili, sono stati condotti diversi studi sul cemento con l'incorporazione di additivi naturali e sintetici.

I materiali lignocellulosici, noti anche come OWF, hanno un grande potenziale di applicazione nel campo delle costruzioni, dalla produzione di compositi a pannelli leggeri ecc..

M. Lekshmi et al. [2021] hanno sperimentato materiali lignocellulosici come le fibre di cocco e la cenere di lolla di riso come rinforzi nelle malte da muratura. La cellulosa e la lignina presente in questi residui hanno migliorato le proprietà interfacciali e meccaniche della malta. In particolare, l'aggiunta dello 0,25% di fibre di cocco alla malta cementizia ha determinato un rallentamento della propagazione delle fessure e il miglioramento delle proprietà fisiche e meccaniche della malta cementizia; l'incorporazione dello 0,5%–1,5% ha migliorato anche la resistenza agli attacchi di acidi e alcali, determinata dalla presenza di lignina. Il complemento delle ceneri di lolla di riso, per l'alto tasso di cellulosa, ha conferito resistenza a lungo termine, soprattutto testabile dopo 28 giorni, al legante. Inoltre, la struttura porosa dei materiali lignocellulosici, grazie alla capacità di assorbimento d'acqua, ricopre il ruolo di

agente indurente interno alla malta. Altri studi hanno dimostrato che l'aggiunta di materiali con proprietà lignocellulosiche, in questo caso residui della produzione di cotone, legno e latte, in impasti cementizi aumenta la resistenza alla compressione, il modulo elastico e la resistenza alla frattura rispettivamente del 10-12%, 16-20% e 30-40% a 2 anni dall'applicazione [S. Gupta et al., 2020].

Dall'analisi di queste sperimentazioni nasce D.R.I.N.C. Beer, che vede le trebbie di birra come potenziale aggregato naturale nella composizione di una miscela cementizia, in particolare un intonaco termico. Per definire i requisiti che l'intonaco D.R.I.N.C. Beer deve soddisfare, è stato necessario indagare la normativa di riferimento: la UNI EN 998-1:2010 "Specifica per malte per opere murarie. Malte per intonaci esterni ed interni". In essa si specificano le caratteristiche delle miscele e la divisione delle malte in base alle proprietà ottenute:

- GP= malta per scopi generali per intonaci esterni e interni.
- LW= malta alleggerita per intonaci esterni e interni.
- CR= malta colorata per intonaci esterni.
- OC= malta monostrato per intonaci esterni.
- R= malta per risanamento per intonaci esterni e interni.
- T= malta per isolamento termico per intonaci esterni e interni.

Il legislatore fornisce un sommario generale dei requisiti di tutte le tipologie di malte (TABELLA_1), con i rispettivi metodi di prova da seguire, dichiarati nel pacchetto delle UNI 1015, che hanno guidato quest'analisi per definirne le caratteristiche, specificate nel prossimo capitolo. Inoltre la norma fornisce la classificazione delle tre principali proprietà delle malte indurite, riassunta nella TABELLA_2.

PROPRIETÀ	CATEGORIE	VALORI
Intervallo di resistenza a compressione a 28d	CSI	da 0,4 N/mm ² a 2.5 N/mm ²
	CSII	da 1.5 N/mm ² a 5.0 N/mm ²
	CSIII	da 3.5 N/mm ² a 7.5 N/mm ²
	CSIV	≥ 6 N/mm ²
Assorbimento d'acqua per capillarità	W _c 0	Non specificato
	W _c 1	C ≤ 0.40 kg/ (m ² xmin ^{0.5})
	W _c 2	C ≤ 0.20 kg/ (m ² xmin ^{0.5})
Conducibilità termica	T1	≤ 0.1 W/m x K
	T2	≤ 0.1 W/m x K

TABELLA_2 Classificazione delle proprietà delle malte indurite.
Fonte: UNI EN 998:1-2010

Una volta definite le caratteristiche che permettono la nomenclatura delle malte, si è stabilito in che categoria far rientrare l'intonaco in esame, ovvero un termointonaco. La norma definisce gli intonaci termici come "malte a prestazione garantita con proprietà isolanti termiche" indicate con l'abbreviazione T (Thermal). Di seguito

Parametro di prova	Metodo di prova	GP	LW	CR	OC	R	T
Massa volumica apparente allo stato secco (kg/m ³)	EN 1015-10	Intervallo di valori dichiarato	Intervallo di valori dichiarato ≤ 1300 kg/m ³	Intervallo di valori dichiarato	Intervallo di valori dichiarato	Intervallo di valori dichiarato	Intervallo di valori dichiarato
Resistenza a compressione (categorie)	EN 1015-11	Da CS I a CS IV	Da CS I a CA III	Da CS I a CS IV	Da CS I a CS IV	CS II	Da CS I a CS II
Adesione (N/mm ²)	EN 1015-12	≥ valore dichiarato e modo di rottura (FP)	≥ valore dichiarato e modo di rottura (FP)	≥ valore dichiarato e modo di rottura (FP)	-	≥ valore dichiarato e modo di rottura (FP)	≥ valore dichiarato e modo di rottura (FP)
Assorbimento d'acqua per capillarità (categorie) (per malte destinate ad essere utilizzate in elementi esterni)	EN 1015-18	DA W _c 0 a W _c 2	DA W _c 0 a W _c 2	DA W _c 0 a W _c 2	DA W _c 1 a W _c 2	≥ 0.3 kg/m ² dopo 24h	W _c 1
Penetrazione dell'acqua dopo la prova di assorbimento d'acqua per capillarità (in mm)	EN 1015-18	-	-	-	-	≤ 5mm	-
Permeabilità all'acqua su substrati pertinenti dopo i cicli di esposizione agli agenti atmosferici (ml/cm ²)	EN 1015-21	-	-	-	≤ 1 ml/cm ² dopo 48h	-	-
Coefficienti di permeabilità al vapore acqueo (μ)	EN 1015-19	≤ Valore dichiarato	≤ Valore dichiarato	≤ Valore dichiarato	≤ Valore dichiarato	≤ 15	≤ 15
Valori di conducibilità termica (λ) (W/mK)	EN 1745:2012	Valore medio da prospetto (P=50%)	Valore medio da prospetto (P=50%)	Valore medio da prospetto (P=50%)	Valore medio da prospetto (P=50%)	Valore medio da prospetto (P=50%)	punto 4.2.2 T1: ≤ 0.10 T2: ≤ 0.20
Reazione al fuoco (classe)	EN 13501-1	Dichiarazione come da punto 5.3.3					
Durabilità	-	Dichiarazione come da punto 5.3.2					
Sostanze pericolose	Disposizioni nazionali nel luogo di utilizzo della malta	Disposizioni nazionali					

TABELLA_1 Sommario dei requisiti per malte indurite. Fonte: UNI EN 998:1-2010

nella TABELLA_3 sono stati identificati i valori, quindi gli obiettivi, che l'intonaco termico D.R.I.N.C. Beer deve raggiungere.

I risultati ottenuti sono stati poi confrontati con il "THERMOCALCE" di Vimark s.r.l. [2], al fine di legittimare il nuovo uso di questo sottoprodotto in un impasto cementizio, per creare una nuova filiera, e per prevedere la possibile competitività sul mercato.

Parametro di prova	Metodo di prova	Obiettivi D.R.I.N.C. Beer	THERMOCALCE
Consistenza malta fresca	UNI EN 1015-3	160 +- 10 (mm)	-
Massa volumica apparente della malta fresca	UNI EN 1015-6	> 600 a ≤ 1200 (kg/m ²)	745 kg/m ²
Contenuto d'aria della malta fresca	UNI EN 1015-7	Valore dichiarato	25 %
Tempo di lavorabilità	UNI EN 1015-9	Valore dichiarato	> 90 min
Massa volumica apparente della malta idurita	UNI EN 1015-10	Valore dichiarato	570 kg/m ²
Resistenza a flessione	UNI EN 1015-11	Da CS I a CS II	0.5 N/mm ²
Resistenza a compressione	UNI EN 1015-11	Da CS I a CS II	0.9 N/mm ² (CS I)
Aderenza al supporto di malte da intonaco	UNI EN 1015-12	Valore dichiarato	0.15 N/mm ²
Coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità	UNI EN 1015-18	W _c 1	C ≤ 0.40 kg/(m ² xmin ^{0.5}) W _c 1
Permeabilità al vapore d'acqua delle malte idurite	UNI EN 1015-19	μ ≤ 15	5/20 μ
Compatibilità delle malte monostrato	UNI EN 1015-21	Valore dichiarato	-
Conducibilità termica	EN 1745:2012	T1: ≤ 0.10 T2: ≤ 0.20 W/mK	0.148 W/mK

TABELLA_3 Obiettivi da raggiungere per DRINC Beer e comparazione con i valori di THERMOCALCE.

NOTE

[1] Le trebbie di birra sono così composte: 25,4% di cellulosa, 21,8% di emicellulosa, 11,9% di lignina, 24% di proteina, 10,6% di lipidi e 2,4% di polveri.

[2] THERMOCALCE composto da calce idraulica naturale, perlite espansa, fibre di carta e additivi.

3.2 LE MATERIE PRIME UTILIZZATE

Per individuare le materie prime adatte a un mix design coeso che soddisfi le richieste elencate nel paragrafo precedente, è stato necessario capire cos'è e di cosa ha bisogno un intonaco per essere definito termico.

Un termo-intonaco è una malta a cui vengono aggiunti aggregati isolanti che hanno il compito di rallentare le dispersioni di calore nell'involucro edilizio, a causa dei valori bassi di conducibilità termica che lo caratterizzano. La prestazione termica dell'involucro è un fattore primario poiché influenza la quantità di energia richiesta per il comfort termico interno e la qualità dell'aria interna. Una strategia passiva per la riduzione del consumo energetico e una buona soluzione dal punto di vista economico è l'incorporazione dell'isolamento termico nei materiali. Questo è riconosciuto come uno dei modi più efficaci per mitigare le perdite di calore.

L'uso di materiali compositi per l'accumulo di energia termica consente il raffreddamento e il riscaldamento passivo degli edifici, con un notevole risparmio energetico. Negli ultimi anni, il consumo energetico globale in tutto il mondo ha cambiato la costruzione degli

edifici, ponendo particolare attenzione ai materiali utilizzati. Il riconoscimento della giusta strategia da adoperare su pareti esistenti o meno deve prendere in considerazione vari aspetti che riguardano fattori estetici, tecnologici e sostenibili dal punto di vista ambientale, economico e sociale. È in questo ambito che i termointonaci prendono spazio, come espediente dell'isolamento termico continuo, al pari del cappotto termico. L. Bianco et al. [2015] hanno studiato l'applicazione di un termointonaco a base vegetale sulla parete interna di edifici storici come valida soluzione per il risanamento degli stessi, grazie alla facile installazione e reversibilità, e come un buon punto d'incontro tra aspetti energetici e conservativi.

Oltre alle caratteristiche sopra elencate, a un intonaco termico è richiesto anche un elevato coefficiente di permeabilità al vapore acqueo al fine di assicurare una buona traspirabilità alla muratura, nonostante gli spessori maggiori, rispetto a un intonaco da muratura, con cui può essere applicato. Per questo motivo è un buon rimedio anche su pareti soggette a umidità da risalita. Inoltre, la facilità di stesura lo rende utile anche su superfici irregolari, livellandole senza interventi preliminari e formando uno strato compatto e resistente alle sollecitazioni.

L'impasto di questi intonaci speciali si presenta sempre sotto forma di polvere; il mercato ne offre un'ampia

scelta, soprattutto viste le nuove sperimentazioni in questo settore, per termointonaci naturali.

I leganti sono costituiti da polveri fini e sono divisi in idraulici, come cementi e calce idrauliche, e aerei come calce aerea, gesso e terra. Agli aggregati è affidato il compito della stabilità dimensionale dell'impasto e di specifiche proprietà della malta come la lavorabilità, caratteristiche di isolamento termico, la durabilità, il modulo elastico e la resistenza all'abrasione [M. Gastaldi, 2011].

Gli inerti da aggiungere all'impasto possono essere di varia natura, ma se devono conferire alla malta proprietà termiche specifiche devono tener conto: della conducibilità termica che influenza i fenomeni della trasmissione del calore per conduzione in regime stazionario e dinamico; della densità, come rapporto tra la massa di materiale e il volume che occupa, che influenza la capacità di accumulo termico; del fattore di resistenza al vapore acqueo, che influenza la traspirabilità della muratura; essi possono essere di origine minerale, vegetale e petrolchimica [F. De Rossi, 2015].

Altro importante elemento da aggiungere, in piccole quantità, sono gli additivi, che consentono di migliorare alcune qualità del legante, sia allo stato fresco che indurito; essi possono essere fluidificanti, acceleranti, ritardanti o aeranti.

Infine, è importante il dosaggio d'acqua che, oltre a rendere possibile l'impasto, può interferire con i processi di presa e indurimento influenzando la resistenza meccanica finale. Dopo queste considerazioni la scelta dei materiali per il confezionamento del mix design è stata orientata sulla sperimentazione dell'aggregato vegetale, sia con legante cementizio (Prompt) che con calce idraulica e calce aerea, aggregati come sabbia, perlite e fibre costituite da paglia di riso.

3.2.1 CEMENTO PROMPT

Il cemento Prompt nasce nel 1796, quando l'ecclesiastico J. Parker realizza uno dei primi cementi a presa rapida ottenuto dalla cottura, in forni da calce, a basse temperature, di marna successivamente macinata. Nel 1817 il francese L.J. Vicat inizia una serie di sperimentazioni sulla calce idraulica che lo portano alla teoria dell'idraulicità [3], ovvero intuisce i fattori che regolano le proprietà idrauliche: silice e allumina legate da materiali argillosi [I. Cosentino, 2017], e quindi come ottenere un cemento da una miscela artificiale di argilla e calcare. Questi studi hanno generato una serie di brevetti, tra cui il Cemento Naturale rapido PROMPT del gruppo Vimar, utilizzato in questo studio. Impropriamente chiamato "Cemento Romano" o "Cemento Francese", questo è un legante idraulico naturale che viene

realizzato a partire dalla cottura a basse temperature, tra 500 e 1200°C, di calcari argillosi (FIGURA_1) che vengono, una volta ultimata la cottura, divisi in tre categorie (completamente cotte, cotte e stracotte), poi finemente macinati e uniti [4].

Particolarmente adatto per la bioedilizia, è caratterizzato da una presa molto rapida (2 min a 20°C), causata dagli alluminati formati durante la cottura, ma regolabile grazie ad additivi aggiunti all'impasto.

Agli alluminati e al rapporto acqua/cemento è affidato l'aumento della resistenza meccanica. Per rapporti minori a 0.5 si ha maggiore resistenza meccanica e bassa porosità al pari dei cementi artificiali, mentre per rapporti maggiori di 0.5 si evidenzia minor resistenza meccanica, maggior assorbimento d'acqua e porosità che lo rende simile alle calce idrauliche naturali [5]. L'affinità di questo cemento sia ai cementi artificiali che alle calce idrauliche è data dalla sua composizione chimica costante, divisa tra carbonato di calce e magnesio che ne compongono il 72/78%. Si differenzia però dalla calce idraulica per l'idratazione, e dai cementi artificiali per la granulometria più fine. Inoltre, a causa delle temperature di cottura minori rispetto a quelle dei cementi artificiali, tipo Portland (1300/1450 °C), ha un minor impatto ambientale. Si registrano infatti valori di EE (3.55 MJ/kg) ed EC (0.57 kgCO₂/

kg) minori rispetto a quelli del cemento Portland, rispettivamente EE=5.31MJ/kg, EC=0.83 kgCO₂/kg [D. Faruku, et al., 2018]. Vista la standardizzazione della composizione chimica ritroviamo la sua peculiarità nella composizione mineralogica (TABELLA_4), formata da una vasta gamma di minerali responsabili della presa e dell'indurimento, dell'idratazione e dell'aumento nel tempo delle resistenze meccaniche. Si presenta sotto forma di polvere di colore grigio scuro (FIGURA_2) con densità pari a 970 kg/m³ [6].



FIGURA_1 Pietra cotta di cemento naturale PROMPT
Fonte: <http://www.cimentetarchitecture.com/it/Cemento-Naturale-Prompt/La-definizione>



FIGURA_2 Cemento PROMPT
Fonte: <http://www.cimentetarchitecture.com/it/Cemento-Naturale-Prompt/La-definizione>

NOTE
[3] <http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/6139>
[4] <http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/884>
[5] <http://www.cimentetarchitecture.com/it/Cemento-Naturale-Prompt/La-fabbricazione/Caratteristiche-chimico-fisiche-e-mineralogiche>
[6] La densità del cemento naturale Prompt è stata calcolata dalla media del peso specifico della scheda tecnica di Vicat (Ps= 0,8 - 1,1) cm³/d=970 kg/m³ c.a)

MINERALI	%
Silicato tricalcico	5-10
Silicato bicalcico	40-60
Alluminato tricalcico	6 -+ 2
Ferroalluminato tretacalcico	9 -+ 2
Epta-alluminato dodecalcico	3 -+1
Calcio solfoalluminato	3 -+ 1
Periclasio	4 -+ 1
Itrato di calcio	2 -+ 2
Calcite	10-15
Solfite	3 -+ 1
Altro	10-15

TABELLA_1 Composizione mineralogica del cemento Prompt.
Fonte: <http://www.cimentetarchitecture.com>

3.2.2 CALCE AEREA ED IDRAULICA

La calce è un legante naturale composto dalla cottura ad alte temperature di rocce calcaree, quali ad esempio marmi, calcari compatti o argillosi ecc., caratterizzati da elevata purezza (95% CaCO₃). La conoscenza delle calce va di pari passo a quella del cemento naturale, per la somiglianza di composizione [M. Gastaldi, 2011]. Esistono diverse tipologie di calce divisibili in due grandi famiglie per struttura, processo produttivo e impiego: le calce aeree e le calce idrauliche. Le prime induriscono a contatto con l'aria e si dividono in: calce viva, se composta solo da ossido di calcio (CaO) ottenuto dalla cottura ad alte temperature (800/1000°C) e successiva macinazione di calcare puro, e calce spenta o idrata che nasce dall'idratazione della calce viva in

modo da trasformare l'ossido di calcio in idrossido di calcio (Ca(OH)₂).

Il processo di spegnimento della calce è importante in quanto, se non è completo, può generare rotture e distacchi per aumento di volume a causa dell'ultimazione dell'idratazione dopo la messa in opera. Rilevante risulta quindi essere la quantità di acqua aggiunta alla calce viva (granulometria di 5/10mm) per ottenere la calce spenta. Esistono tre tecniche di spegnimento: spontanea, per fusione e per immersione; alla fine delle quali si ottiene il composto in polvere. Gli aggregati da aggiungere all'impasto, comunemente sabbia, hanno il compito di facilitare la carbonatazione della malta. In genere gli impasti aerei sono caratterizzati da bassi livelli di resistenza a compressione poiché necessitano di una bassa porosità per facilitarne appunto la carbonatazione. Le calce idrauliche, invece, grazie all'idratazione del silicato e dell'alluminato di calcio, fanno presa a contatto con l'acqua; questo garantisce la possibilità di controllare l'indurimento della malta. Le proprietà idrauliche sono da attribuire alle reazioni che avvengono tra materiali pozzolanici e calce; si dividono in naturali, se ottenute da calcari marnosi (argilla al 5/20%), e artificiali se prodotte dall'unione di calcari teneri e argilla al 10/20%. Il processo di produzione è simile a quello delle calce aeree ma avviene per cottura di materiali calcari impuri a temperature

più elevate (1000 °C). A seconda del tipo di legante si ottiene una malta aerea o una malta idraulica, ma vista la loro totale compatibilità spesso vengono unite nello stesso impasto. In genere, la calce idraulica, vista l'assenza di carbonatazione, è meno porosa, e quindi caratterizzata da minor permeabilità all'acqua, il che comporta un aumento in termini di resistenza meccanica e durabilità. Entrambe sono prodotti 100% naturali. La calce aerea (FIGURA_3) utilizzata in questa sperimentazione ha un colore bianco puro e una densità di 500 kg/m³, mentre la calce idraulica (FIGURA_4) è di colore nocciola con una densità pari a 700kg/m³.



FIGURA_3 Calce aerea



FIGURA_4 Calce idraulica

3.2.3 SABBIA SILICEA

La sabbia è l'aggregato più comunemente utilizzato per il confezionamento di intonaci: riduce il ritiro dell'impasto fresco, ne aumenta la lavorabilità e conferisce resistenza meccanica alla malta indurita. Essa può essere naturale se estratta dal mare, dai torrenti o dai fiumi o artificiale se ottenuta dalla frantumazione di rocce. Le sabbie argillose sono friabili e poco resistenti, caratteristiche che non le rendono adatte al confezionamento di malte; mentre quelle calcaree e silicee conferiscono all'impasto durezza e resistenza. Un requisito importante è l'assortimento granulometrico degli elementi, questo per diminuire il vuoto tra gli aggregati e contribuire alla compattezza dell'impasto indurito. In base al diametro dei granuli le sabbie si dividono in: sabbie fini (0.08/0.6mm), sabbie medie (0.6/2mm) e sabbie grosse (2/8mm). Di queste, quelle più utilizzate per le malte sono le medie e le grosse, poiché le fini, data la scarsa aderenza, renderebbero gli impasti secchi e suscettibili a fendersi.

Di norma per il confezionamento di malte per intonaco si utilizzano sabbie silicee con granulometria massima prossima ai 3 millimetri, in particolare: 0,1 ÷ 0,5 (malte per intonaci lisci); 0,5 ÷ 2 (malte per murature e intonaci grezzi); con diametro 2 ÷ 3 (malte per murature e intonaci rustici) [M. Gastaldi, 2011]. La sabbia

silicea e marina sono tra le più utilizzate nell'industria edile, soprattutto per il confezionamento di impasti cementizi. Considerato che, sin dall'800, vi è stato un continuo aumento della domanda di questi conglomerati, il fabbisogno è sempre aumentato, creando oggi un problema ambientale serio.

La sabbia è la seconda risorsa più consumata al mondo: ogni anno vengono estratti fino a 50 miliardi di tonnellate di sabbia solo per soddisfare le esigenze del comparto edile. Gli impatti maggiori si riversano su fiumi, pianure alluvionali, delta e spiagge marine. Questa problematica è stata particolarmente affrontata dal WWF durante la World Water Week 2018 che ha portato alla stesura dell'articolo "Impacts of sand mining on ecosystem structure, process and biodiversity in rivers". In esso vengono descritti in particolare gli effetti di quest'uso massiccio di sabbia: "This type of societal shift is similar to that required to address climate change, and will necessitate changes in the way that sand and rivers are perceived, and cities are designed and constructed". Ciò sta portando molte sperimentazioni verso risorse diversificate come sabbia artificiale, composta da materiali riciclati, o l'utilizzo di sabbia marina non trattata per il confezionamento di calcestruzzi [S. Pranavan et al, 2021].

Per questo motivo e per il tentativo di rendere l'intonaco D.R.I.N.C. Beer più

leggero e con proprietà isolanti, nella fase finale di sperimentazione è stato preferito l'utilizzo di un altro aggregato. La sabbia utilizzata nella prima fase è sabbia silicea (FIGURA_5) con granulometria tra 0.075-3mm e densità di 1570 kg/m³ [7].



FIGURA_6 Sabbia silicea

NOTE

[7] La granulometria della sabbia silicea è stata determinata presso di LASTIN del Politecnico di Torino. La densità apparente è stata presa come media da valori recuperati da letteratura 1500-1639 kg/m³.

3.2.4 PERLITE ESPANSA

La perlite è una struttura appartenente alle leghe ferro-carbonio costituita da lamelle di ferrite e cementite. In particolare, la perlite espansa è una varietà di roccia vulcanica effusiva che portata ad alte temperature (800/1000 °C), per effetto dell'evaporazione dell'acqua naturalmente contenuta nella roccia, espande il suo volume fino a 20 volte rispetto a quello originale. Questo processo genera, all'interno dei granuli, delle piccolissime cavità che le conferiscono la leggerezza, la traspirabilità e le proprietà di isolamento termico e acustico che caratterizzano questo materiale, dato dalla maggiore

porosità. L'aumento di volume e la struttura porosa rendono l'assorbimento d'acqua della perlite espansa elevato. In base alla granulometria viene usata per assolvere vari compiti nell'industria edile; la perlite espansa con granulometria fine è utilizzata per intonaci e calcestruzzi, la granulometria media per riempire intercapedini e quella grossa per la costruzione di sottofondi alleggeriti termoisolanti.

Questo tipo di aggregato viene preferito ad altri per il confezionamento di calcestruzzi leggeri a causa della bassa densità che lo caratterizza. Studi sulla sostituzione di questo aggregato alla sabbia in un impasto cementizio hanno dimostrato che la resistenza alla compressione del calcestruzzo viene ridotta a causa della minore resistenza della perlite; in particolare miscele contenenti il 20% in peso di perlite possono essere classificate come calcestruzzo strutturale leggero, mentre le miscele contenenti più del 20% di perlite espansa possono essere classificate come isolanti. Va sottolineato che questi dati si riferiscono a perlite espansa pre-impregnata in acqua, l'aggregato incorporato allo stato secco garantisce resistenze a compressione maggiori dovute al fatto che gli inerti assorbono l'acqua dell'impasto. Inoltre la sostituzione con perlite espansa riduce la conducibilità termica delle miscele a causa della sua struttura porosa. Questa

riduzione è relativamente piccola per i rapporti di sostituzione del 20% e del 40%, mentre riduzioni di conducibilità più sostanziali sono state registrate per aumenti considerevoli di questo materiale. All'aumentare del contenuto di perlite espansa, il peso unitario degli impasti si riduce sensibilmente e si ottengono assorbimenti molto più elevati grazie a valori di assorbimento d'acqua pari al 310% [O. Sengul, 2011]. Indagate le caratteristiche di isolamento termico e la bassa densità, la seconda parte di sperimentazione di questo studio, ha visto la sostituzione dell'aggregato di sabbia silicea con la perlite espansa al fine di ottenere un intonaco leggero e ad alto potere isolante. La perlite espansa utilizzata [8] è una perlite italiana a granulometria fine: Peralit 13 (TABELLA_5). Si presenta come polvere bianca inodore (FIGURA_5) con granuli di diametro 0.1-1mm e densità pari a 75 kg/m³.



FIGURA_5 Perlite espansa: Peralit 13

NOTE
[8] Le caratteristiche sono descritte nella scheda dati di sicurezza di Peralit 13 prodotta da Perlite Italiana S.R.L. Il valore della densità apparente è stato preso come media dai valori presenti sulla scheda tecnica: 70-80 kg/m³ +/- 15%.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE	
Aspetto	Solido granulare
Granulometria	0.1/1mm
Densità	70 / 80 kg/m ³
Colore	Bianco
Conducibilità termica	0.041 W/mK
Reazione al fuoco	Classe A1
Calore specifico	837 J/kg°K
Punto di fusione	1200 °C
pH	6.5 / 7.5
COMPOSIZIONE CHIMICA	
Silice	74 / 78 %
Ossido di alluminio	11 / 14 %
Ossido di ferro	0.5 / 1.5 %
Ossido di sodio	3 / 6 %
Ossido di potassio	2 / 4%
Ossido di calcio	1 / 2 %
Ossido di magnesio	0 / 0.5%

TABELLA_5 Scheda tecnica Peralit 13
Fonte: Perlite Italiana S.R.L.

3.2.5 PAGLIA DI RISO

La paglia viene utilizzata come fibra vegetale di rinforzo e alleggerimento all'interno di malte per intonaci al fine di rispondere a esigenze antifessurative, dovute principalmente al ritiro plastico del legante. Alcuni studi hanno dimostrato che la conducibilità termica degli intonaci così composti, diminuisce con l'aumentare del dosaggio di fibre vegetali [T. Ashour, 2011].

In questo caso è stata utilizzata paglia di riso, costituita principalmente da cellulosa, lignina, minerali e silicati; l'elevato contenuto di silice (TABELLA_6) la rende un materiale durevole e classificato come materiale isolante termico e acustico.

La paglia di riso rappresenta il culmo della pianta del riso essiccata, alla fine della sua maturazione. Sul mercato è disponibile sotto forma di balle oppure a steli sfusi.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE	
Potere calorifico inferiore	17 / 18.4 MJ/kg
Umidità alla raccolta	20 / 30 %
Ceneri	10 / 15 %
Silice	130.000 mg/kg
Potassio	13.200 mg/kg
Azoto	0.6 / 1.7 %
Zolfo	0.07 / 0.22 %
Cloro	0.07 / 0.9 %

TABELLA_6 Caratteristiche chimico-fisiche della paglia di riso.
Fonte: o (Fonte immagine: <https://www.enama.it/userfiles/PaginaSezione/files/p1c1>).

Il campione di paglia di riso utilizzato per le sperimentazioni è stato recuperato sfuso dall'azienda agricola "Perinotti Luigi e Giovanni" nel 2017, ed è stato oggetto d'indagine per il confezionamento di conglomerati cementizi a base di questa fibra e di lolla di riso [D. Faruku, J. Andreotti, 2018].

La paglia di riso si presenta in steli di varia lunghezza (15/90cm) e umidità al 15/20%; per il suo utilizzo è stato necessario sminuzzarla a mano fino a ottenere steli di lunghezze $\leq 10\text{mm}$ (FIGURA_6).

In un secondo momento ne è stata determinata la densità apparente, successivamente confrontata con quella

calcolata per la paglia a steli lunghi pari a 54.65 kg/m^3 [9].

La densità apparente della paglia a steli corti è stata calcolata presso il LASTIN, attraverso tre pesate, su bilancia Sauter August RC 2022, di tre becher di diverso peso (rispettivamente 142g, 142g, 132g) con 200ml (200cm^3) di materiale. Sia per una facilità d'impiego nell'impasto cementizio che per la densità maggiore, per ottenere un impasto più coeso, le sperimentazioni hanno visto l'impiego della paglia di riso a steli corti con densità apparente di 90 kg/m^3 (TABELLA_6).



FIGURA_6 Paglia di riso prima e dopo il trattamento

VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO PAGLIA	16 g	0.016 kg
DENSITA' APPARENTE	0.08 g/cm ³	80 kg/m ³
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO PAGLIA	19 g	0.019 kg
DENSITA' APPARENTE	0.098 g/cm ³	98.75 kg/m ³
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO PAGLIA	18 g	0.018 kg
DENSITA' APPARENTE	0.09 g/cm ³	90 kg/m ³

DENSITA' APPARENTE MEDIA = 90 kg/m^3

TABELLA_6 Calcolo densità apparente della paglia di riso

NOTE

[8] La densità apparente della paglia di riso a steli lunghi è stata individuata da lettura.

4.3 LE MATERIE PRIME SECONDE: LE TREBBIE DI BIRRA

L'analisi sulle trebbie di birra, per poterne capire le caratteristiche fisiche, è iniziata con il recupero di diversi campioni di materiale. Per l'analisi sulla caratterizzazione dei granuli esausti si rimanda al paragrafo 1.4.

La prima quantità di trebbie di birra, etichettata come CT1 [9] ai fini del presente studio, è stata fornita, in data 15 settembre 2020, dal microbirrificio artigianale Incanto, sito a Casalnuovo di Napoli (NA). Lo scarto è stato recuperato subito dopo la conclusione del processo di filtrazione del mosto, poiché, come spiegato nel primo capitolo, le trebbie di birra umide, avendo un'umidità compresa tra il 70% e l'85% [Mussatto et al., 2006], devono essere smaltite velocemente per evitare l'insorgere dell'attività microbica che ne porterebbe il deterioramento e la marcescenza.

Il sottoprodotto è stato stoccato presso San Vitaliano, a pochi chilometri dal birrifico. Sono stati recuperati 13.5 kg di trebbie umide (FIGURA_7), pesata effettuata con bilancia Girmi BP25 (portata max 180kg), con un'umidità all'82% (umidità media rilevata attraverso igrometro con contatto a perno, gamma di misurazione 0%/80% e precisione al 2%). La breve stabilità microbica delle trebbie umide rappresenta il principale ostacolo



FIGURA_7 Trebbie di birra umide.



FIGURA 8_ Essiccazione al naturale delle trebbie di birra.



FIGURA 9_ Trebbie di birra secche.

per il loro riutilizzo, quindi come prima cosa è stato necessario procedere con l'essiccazione. Il residuo è stato essiccato al naturale in un luogo soleggiato (FIGURA_8) dal 13 al 22 settembre 2020, raggiungendo un'umidità finale del 21% e un peso pari a 3.7kg (FIGURA_9). L'essiccazione è stata favorita dalle condizioni meteorologiche degli otto giorni che hanno visto una temperatura media di 25.4 °C e un'umidità media dell'aria del 58%. Il sottoprodotto, per evitare fenomeni di marcescenza, è stato rimestato cinque volte al giorno. In seguito, presso il LASTIN, si è stabilita la densità apparente delle trebbie di birra secche. Questo dato è importante per stimare futuri aspetti tecnici nella fase di stoccaggio ed economici nella fase di trasporto. La metodologia utilizzata segue la UNI EN ISO 17828:2016 [10]; la densità apparente è stata misurata attraverso

tre pesate su bilancia di precisione da laboratorio Sauter August RC 2022. Il calcolo è stato effettuato riempiendo tre becher di diverso peso (rispettivamente 142g, 142g, 132g) con 200ml (200cm³) di trebbia secca e utilizzando la seguente formula:

Densità apparente=

$$\text{Massa (kg)} / \text{Volume (m}^3\text{)}$$

Si è determinata così una densità media apparente (massa volumica apparente) di CTI pari a 214.7Kg/m³ (TABELLA_8). Successivamente è stato effettuato uno studio sulla composizione granulometria per verificare l'efficacia della trebbia di birra come aggregato in un impasto cementizio. L'analisi granulometrica, condotta su tre campioni secchi di 300 g l'uno, si ottiene per il passaggio del materiale in una serie di setacci che, grazie a vibrazioni, lo



	BECHER 1 142 g	BECHER 2 142 g	BECHER 3 132 g
VOLUME BECHER	0,0002 m ³	0,0002 m ³	0,0002 m ³
PESO BECHER	0,142 kg	0,142 kg	0,132 kg
PESO BECHER + TREBBIE	0,186 kg	0,182 kg	0,177 kg
DENSITÀ APPARENTE TREBBIE	219,2 kg/m ³	201,2 kg/m ³	223,6 kg/m ³

DENSITA' APPARENTE MEDIA = 214.7 kg/m³

TABELLA_8 Calcolo densità apparente media delle trebbie di birra secche- CTI.



FIGURA_10 Vibrovaglio circolare Controls

filtrano separando la granulometria dalla maggiore alla più fine. Per l'esecuzione della vagliatura sono stati impiegati vagli Controls (FIGURA_10) con apertura di 6.3mm – 5.00mm – 3.00mm – 2.00mm – 1.00mm – 0.5mm – 0.2mm – 0.075mm; conformi alle norme ISO 3310-1:2016 [11] e 3310-2:2013 [12]. I campioni sono stati sottoposti a setacciatura per 10 minuti, identificando sette differenti frazioni granulometriche (0.075-6.3mm), al fine di calcolare la

PEZZATURE	APERTURA SETACCIO (mm)	PESO MEDIO DEI GRANULI (g)	% IN PESO SUL CAMPIONE ANALIZZATO
	≥ 6,3	4.00	1.33
	5,00	12.00	4.00
	3,00	208.7	69.56
	2,00	22.7	7.56
	1,00	44.3	14.78
	0,5	6.7	2.22
	0,2	1.7	0.56
TOTALE	-	300	100

TABELLA_9 Distribuzione granulometrica del campione CTI di trebbie di birra.

percentuale presente nei campioni di ogni pezzatura (TABELLA_9). Si è riscontrato che la granulometria maggiormente presente nel sottoprodotto è quella di 3mm con una percentuale media sul totale del 70%. Le quantità nel campione (300g) possono essere suddivise in due principali classi granulometriche: la prima, 3-4.99mm, rappresenta il 70% sul totale e la seconda, 0.2-2.99mm, circa il 25%. Nel campione non si è riscontrata la presenza di granuli con diametro inferiore a 0.1 mm.

Con la stessa metodologia utilizzata per calcolare la densità apparente media della pezzatura mista, anche per le frazioni granulometriche maggiormente presenti (3mm, 2mm, 1mm) ne è stata calcolata la densità apparente media (TABELLA_10). Questo calcolo, riferito alle granulometrie fini, è stato escluso per la scarsa percentuale in peso relativa al campione di riferimento. Come si evince dalla Tabella 10, la massa volumica aumenta al diminuire della granulometria: questo è evidente soprattutto se vengono comparate le setacciate 1 e 3. Tuttavia si rileva una differenza di solo 2 kg/m³ di densità apparente tra la setacciata 2 e 3, probabilmente da attribuire alla poca differenza di forma tra le due granulometrie. Si ricorda, infatti, che la densità apparente è influenzata dalla forma, dalla dimensione e dai vuoti tra i granuli, e serve a stabilire la quantità di granuli presenti in un dato volume.

CT1 setacciata 1 - granulometria 4.99/3.00mm		
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO TREBBIE	44 g	0.044 kg
DENSITA' APPARENTE	0.22 g/cm ³	220 kg/m ³
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO TREBBIE	36 g	0.036 kg
DENSITA' APPARENTE	0.18 g/cm ³	181 kg/m ³
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO TREBBIE	44 g	0.044 kg
DENSITA' APPARENTE	0.22 g/cm ³	222 kg/m ³
DENSITA' APPARENTE MEDIA = 208 kg/m ³		
CT1 setacciata 2 - granulometria 2.99/2.00mm		
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO TREBBIE	43 g	0.043 kg
DENSITA' APPARENTE	0.218 g/cm ³	218 kg/m ³
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO TREBBIE	44 g	0.044 kg
DENSITA' APPARENTE	0.219 g/cm ³	219 kg/m ³
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO TREBBIE	45 g	0.045 kg
DENSITA' APPARENTE	0.227 g/cm ³	227 kg/m ³
DENSITA' APPARENTE MEDIA = 222 kg/m ³		
CT1 setacciata 3 - granulometria 1.99/1.00mm		
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO TREBBIE	45 g	0.045 kg
DENSITA' APPARENTE	0.223 g/cm ³	223 kg/m ³
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO TREBBIE	46 g	0.046 kg
DENSITA' APPARENTE	0.228 g/cm ³	228 kg/m ³
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.02 m ³
PESO TREBBIE	44 g	0.044 kg
DENSITA' APPARENTE	0.22 g/cm ³	220 kg/m ³
DENSITA' APPARENTE MEDIA = 224 kg/m ³		

TABELLA_10 Densità apparente CT1 a seguito della setacciatura.

Data l'esigua quantità di trebbie di birra a disposizione per le prove, in data 29 ottobre 2020, è stato recuperato un secondo campione di trebbie di birra, denominato CT2 [13], presso il birrificio agricolo Kauss di Piasco (CN). Precisamente sono stati prelevati 30.9kg di trebbie di birra, uscenti dal processo di filtraggio, con umidità all'83.3% (umidità media rilevata attraverso igrometro con contatto a perno, gamma di misurazione 0%/80% e precisione al 2%), successivamente stoccate presso il LASTIN.

Il primo passo è stato quello di dividere ed essiccare la quantità, parte in forno e parte al naturale. Un totale di 2.7 kg sono stati divisi in due campioni, CT2.1 e CT2.2, rispettivamente 1.08 kg e 1.65 kg, ed essiccati in forno ventilato (FIGURA_11 e FIGURA_12). I due campioni hanno raggiunto un'umidità finale del 18% dopo essere stati sottoposti a essiccazione in forno per 20 h a 75 °C (TABELLA_11). Il cambio di umidità, per ogni ora, è stato calcolato con la seguente formula:

$$\text{Umidità (ora successiva)} = (\text{peso trebbie finale} * \text{umidità iniziale}) / \text{peso trebbie iniziale}$$

Data la natura organica del sotto prodotto, Mussatto et al. (2006) consigliano di mantenere la temperatura del forno compresa tra i 60°C e i 100°C per evitare la combustione del materiale. A differenza del primo campione di trebbie umide (CT1), una parte di



FIGURA_11 Forno ventilato utilizzato per essiccare



FIGURA_12 Campione di trebbie di birra umide. Dall'alto: CT 2.1 - CT 2.2



FIGURA_13 Marcescenza superficiale CT2

	CT 2.1	CT 2.2
TREBBIE DI BIRRA UMIDE		
PESO TREBBIE	1.08 kg	1.65 kg
UMIDITA'	83.3 %	83.3 %
ESSICCAZIONE DOPO 1h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	1.04 kg	1.58 kg
UMIDITA'	80.21 %	79.77 %
ESSICCAZIONE DOPO 2h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.97 kg	1.48 kg
UMIDITA'	74.82 %	74.73 %
ESSICCAZIONE DOPO 3h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.91 kg	1.40 kg
UMIDITA'	70.50 %	70.69 %
ESSICCAZIONE DOPO 4h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.86 kg	1.29 kg
UMIDITA'	66.72 %	65.15 %
ESSICCAZIONE DOPO 5h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.81 kg	1.22 kg
UMIDITA'	62.48 %	61.62 %
ESSICCAZIONE DOPO 6h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.76 kg	1.14 kg
UMIDITA'	58.62 %	57.58 %
ESSICCAZIONE DOPO 7h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.71 kg	1.05 kg
UMIDITA'	54.76 %	52.94 %
ESSICCAZIONE DOPO 8h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.65 kg	0.95 kg
UMIDITA'	50.13 %	48.00 %
ESSICCAZIONE DOPO 9h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.60 kg	0.87 kg
UMIDITA'	46.28 %	43.72 %
ESSICCAZIONE DOPO 10h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.55 kg	0.80 kg
UMIDITA'	42.11 %	40.44 %
ESSICCAZIONE DOPO 11h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.50 kg	0.71 kg
UMIDITA'	38.56 %	35.90 %
ESSICCAZIONE DOPO 12h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.45 kg	0.62 kg
UMIDITA'	34.71 %	31.36 %
ESSICCAZIONE DOPO 13h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.40 kg	0.54 kg
UMIDITA'	30.85 %	27.33 %
ESSICCAZIONE DOPO 14h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.35 kg	0.46 kg
UMIDITA'	27.00 %	23.19 %
ESSICCAZIONE DOPO 15h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.31 kg	0.42 kg
UMIDITA'	24.22 %	20.98 %
ESSICCAZIONE DOPO 16h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.27 kg	0.38 kg
UMIDITA'	20.83 %	18.96 %
ESSICCAZIONE DOPO 17h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.25 kg	0.36 kg
UMIDITA'	19.44 %	18.35 %
ESSICCAZIONE DOPO 18h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.23 kg	0.35 kg
UMIDITA'	18.05 %	17.85 %
ESSICCAZIONE DOPO 19h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.23 kg	0.35 kg
UMIDITA'	17.74 %	17.65 %
ESSICCAZIONE DOPO 20h a T= 75°C		
PESO TREBBIE	0.22 kg	0.35 kg
UMIDITA'	17.28 %	17.45 %
ESSICCAZIONE DI CONFERMA		
PESO TREBBIE	0.23 kg	0.35 kg
UMIDITA'	17.74 %	17.75 %

TABELLA_11 Variazione peso ed umidità delle trebbie di birra essiccate in forno.

CT2, essiccata al naturale non è stata rimastata frequentemente generando fenomeni di marcescenza superficiale (FIGURA_13). È stato, quindi, necessario sottoporre il sottoprodotto a immersione per 24h in una soluzione composta da 10l di acqua e 400 g di idrossido di sodio. Successivamente il campione è stato essiccato in forno per 24h a 75°C. Al fine della valutazione di eventuali differenze tra i campioni CT1 e CT2, le analisi effettuate sulla quantità reperita a Napoli, per le considerazioni riguardanti la differente granulometria e la densità apparente, sono state ripetute anche sul secondo campione (CT2). L'analisi granulometrica è stata effettuata con la metodologia sopra descritta ed ha evidenziato quantità

e qualità dei granuli in linea con i risultati ottenuti su CT1. La frazione maggiormente presente, nel campione da 300g di CT2, è sempre rappresentata dai granuli con diametro tra i 4.99-3.00 mm con una percentuale in peso sul totale pari al 52%, mentre la granulometria più fine, con granuli di diametro compreso tra 2.99-0.2mm in percentuali pari al 28% e la granulometria più ampia, con diametro maggiore di 5mm, al 19%; quest'ultima molto maggiore rispetto alla stessa quantità rilevata nel campione CT1, pari al 5% (TABELLA_12). La differenza di pezzatura ha determinato una differenza di 142 kg/m³ tra la densità apparente dei due campioni con granulometria ampia. È stata calcolata una densità apparente media del campione CT2

APERTURA SETACCIO (mm)	PRIMA PESATA (g)	SECONDA PESATA (g)	TERZA PESATA (g)	PESATA MEDIA (g)	% PESO SUL TOTALE
6.3	34.5	13.9	20.1	22.83	7.61
5.0	42.5	27.4	34	34.63	11.54
3.0	164	146	158	156.0	52.00
2.0	12.6	23.5	19	18.40	6.12
1.0	38.7	77.3	59.9	58.60	19.54
0.5	6.1	10.2	7.7	8.00	2.67
0.2	1.6	1.7	1.3	1.50	0.51
0.075	0	0	0	0	0.00
TOT	300	300	300	300	100

TABELLA_12 Distribuzione granulometrica del campione CT2 di trebbia di birra.

	BECHER 1 - 142g		BECHER 2 - 142g		BECHER 3 - 132g	
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.0002 m ³	200 cm ³	0.0002 m ³	200 cm ³	0.0002 m ³
PESO TREBBIE	70.5 g	0.070 kg	66.0 g	0.066 kg	79.5 g	0.079 kg
DENSITA' APPARENTE	0.352 g/cm ³	352 kg/m ³	0.330 g/cm ³	330 kg/m ³	0.397 g/cm ³	397 kg/m ³

DENSITA' APPARENTE MEDIA = 360 kg/m³

TABELLA_13 Densità apparente CT2 a seguito di setacciatura.

setacciato con pezzatura mista pari a 360 kg/m³ (TABELLA_13). Comparando i due campioni possiamo, quindi, sottolineare delle differenze, probabilmente dovute al tipo di orzo utilizzato per la produzione della birra o alla diversa macinatura in mulino dello stesso. Un'altra difformità rilevabile a occhio nudo è, su base secca, il differente colore della sostanza. Questo aspetto potrebbe, in fase di sperimentazione, comportare diverse cromie negli impasti (TABELLA_14).

Per sopperire a queste differenze tra i campioni recuperati, si è deciso, in una fase successiva, di provare a realizzare dei provini con una data miscela granulometrica in modo da eguagliare, in un'ottica orientata a una possibile filiera, e quindi all'uso di questo

sottoprodotto in una miscela cementizia, le tipologie di campionature.

La granulometria calibrata da utilizzare negli impasti è stata stabilita equiparandola in percentuale al peso di quella presente in un campione da 600g di sabbia silicea. Si precisa che non è stato possibile realizzare un fuso granulometrico ideale basato su un diagramma sperimentale, come il diagramma di Fuller, per via della forma oblunga del sottoprodotto e del suo comportamento igroscopico.

Dalla setacciatura della sabbia silicea, quindi, si è ottenuta una granulometria calibrata così formata: 1.3% da granuli con diametro 4.99-3mm, 5.9% da granuli con diametro 2.99-2.00mm, 62.7% da granuli con diametro 1.99-1.00mm, 28% da

NOMENCLATURA	CT1		CT2	
				
R	153	77		
G	122	55		
B	79	24		
APERTURA SETACCIO (mm)	% IN PESO SUL TOTALE			
6.3	1.33	7.61		
5.0	4.00	11.54		
3.0	69.56	52.00		
2.0	7.56	6.12		
1.0	14.78	19.54		
0.5	2.22	2.67		
0.2	0.56	0.61		
DENSITA' APPARENTE	218 kg/m³	360 kg/m³		

TABELLA_14 Comparazione CT1 e CT2.

PEZZATURE	APERTURA SETACCIO (mm)	PESO MEDIO DEI GRANULI (g)	% IN PESO SUL CAMPIONE ANALIZZATO
-	6.5	0	0.00
-	5.0	0	0.00
	3.0	8.0	1.33
	2.0	35.3	5.89
	1.0	376.3	62.72
	0.5	167.7	27.94
	0.2	12.7	2.11
TOTALE	-	600	100

TABELLA_15 Distribuzione granulometrica della sabbia silicea.

	BECHER 1 - 142g		BECHER 2 - 142g		BECHER 3 - 132g	
VOLUME BECHER	200 cm ³	0.0002 m ³	200 cm ³	0.0002 m ³	200 cm ³	0.0002 m ³
PESO TREBBIE	51.8 g	0.052 kg	49.4 g	0.049 kg	54.0 g	0.054 kg
DENSITA' APPARENTE	0.259 g/cm ³	259 kg/m ³	0.247 g/cm ³	247 kg/m ³	0.270 g/cm ³	270 kg/m ³
DENSITA' APPARENTE MEDIA = 259 kg/m³						

TABELLA_16 Densità apparente delle trebbie di birra con granulometria calibrata in peso della sabbia silicea.

NOTE

[9] CT1 acronimo di Campione di Trebbie di birra n°1.

[10] UNI EN ISO 17828:2016 "Biocombustibili solidi - Determinazione della massa volumica apparente"

[11] ISO 3310-1:2016 "Technical requirements and testing Test sieves of metal wire cloth"

[12] ISO 3310-2:2013 "Technical requirements and testing Test sieves of perforated metal plate"

[13] CT2 acronimo di Campione di Trebbie di birra n°2.

[14] In un'ottica di filiera, per sminuzzare le trebbie di birra, sarà necessario l'utilizzo di un macinagranaglie elettrico o un mulino per cereali con capacità di regolazione della maglia in modo da calibrare il diametro del sottoprodotto.

granuli con diametro 0.99-0.5mm e 2% da granuli con diametro minore di 0.49mm (TABELLA_15).

Vista la differente percentuale in peso delle pezzature sui campioni di trebbia di birra e sabbia silicea, si è reso necessario sminuzzare diverse quantità di trebbie di birra secche con l'ausilio di un tritacarne manuale a manovella (FIGURA_14) [14]. Il passo successivo è stato quello di vagliare i campioni sminuzzati, miscelare le varie granulometrie seguendo le percentuali in peso presenti nei campioni di sabbia e calcolare la densità apparente del nuovo composto (TABELLA_16). La massa volumica dell'ultimo campione di trebbie di birra con granulometria calibrata risulta essere di 259 kg/m⁴. È stata evidenziata una diminuzione della massa volumica all'aumentare di percentuali di granuli con diametro maggiore, probabilmente dovuta alla forma oblunga delle trebbie di birra e all'aumento di granuli fini all'interno dei campioni che hanno contribuito a ridurre i vuoti.



FIGURA_14 Tritacarne manuale a manovella utilizzato per sminuzzare le trebbie di birra.

3.4 I MIX DESIGN DELLA MALTA

Dopo aver analizzato le caratteristiche fisiche delle trebbie di birra, è susseguita la fase che ha visto l'impiego di questo sottoprodotto come aggregato in una miscela cementizia, al fine di definire la composizione di un mix design ottimale, valutarne le potenzialità e la successiva validazione affrontata nel prossimo capitolo.

In questa fase sono state prodotte diverse miscele divisibili in sei serie di prove corrispondenti a leganti diversi, differenti apporti in termini percentuali di quantità e qualità di trebbie di birra, sabbia silicea, perlite espansa e paglia di riso. In totale i provini realizzati sono stati trentuno.

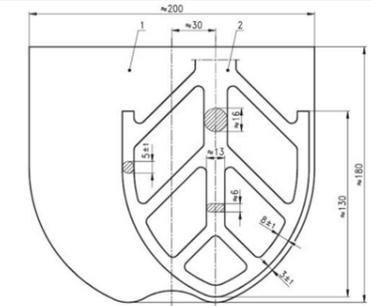
Si precisa che tutti gli impasti sono stati preparati seguendo le linee guida della UNI EN 1015-2:2007 [15] in particolare seguendo il procedimento di miscelazione descritto nel punto 6.2.2 della presente norma, in cui si individua l'utilizzo di un miscelatore conforme alla EN 196-1:2016 [16] [FIGURA_15].

I provini prodotti per valutare la coesione degli impasti hanno tutti dimensioni standard, 160mm x 40mm x 40mm e quindi volume pari a 256000mm³ (0,000256m³), e sono stati confezionati attraverso casseri metallici a pareti

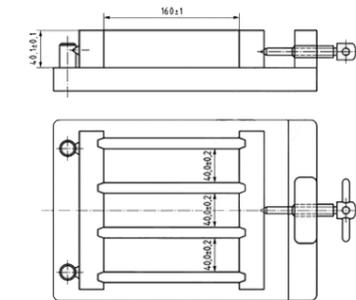
rimovibili che formano tre scomparti in ottemperanza alla UNI EN 1015-11:2019 [17] [FIGURA_16]. I casseri, prima di essere riempiti con l'impasto, sono stati ricoperti con un leggero strato di grasso per facilitarne il disarmo [FIGURA_17].

Il procedimento di miscelazione è stato eseguito, per tutti i provini, mescolando prima le quantità di sostanza secca da testare per 30s a bassa velocità (seguito le indicazioni per impasti con legante PROMPT), successivamente introducendo, nel mescolatore, predeterminate quantità di acqua e acido citrico, e completando l'impasto alla stessa velocità per 60s. L'aggiunta del ritardante di presa è stata necessaria, per tutti gli impasti, al fine di aumentarne il tempo di lavorabilità da 2 a 15 minuti vista la rapidità di presa del cemento Prompt (2 minuti a 20°C).

Per l'impasto di questa malta si è utilizzato inizialmente un rapporto acqua/cemento di 1:1, come le malte ordinarie, ma successivamente aumentato a 1.2 e 1:4, vista la natura igroscopica delle trebbie di birra e il loro comportamento nell'impasto. Gli stampi sono stati riempiti in conformità al punto 7.2.2 della UNI EN 1015-11, quindi la malta è stata inserita nello stampo e picchiettata per assicurare una buona costipazione dell'impasto; la parte in eccesso è stata rimossa con una spatola e livellata in modo da ottenere una superficie piana nella parte superiore dello stampo [FIGURA_18].



FIGURA_15 Apparecchiatura per miscelare. Mescolatore. Fonte: EN 196-1:2016



FIGURA_16 Stampo tipico per la formatura di provini per malte. Fonte: UNI EN 1015-11:2019



FIGURA_17 Cassero metallico utilizzato



FIGURA_18 Provini nel cassero.

Le condizioni di conservazione seguono il punto 7.3.1 della suddetta norma.

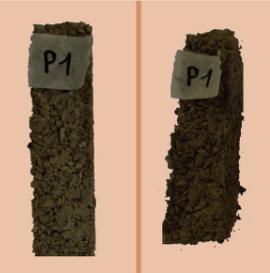
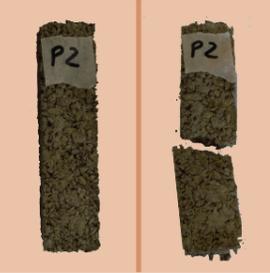
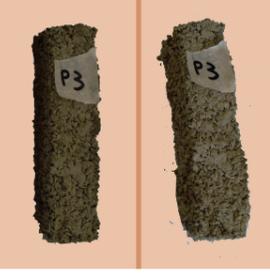
I provini sono stati conservati nello stampo per 72 ore, poi rimossi e lasciati in laboratorio a una temperatura media dell'aria di circa 20°C e umidità relativa media di circa il 65% per 25 giorni. I provini sono stati pesati subito dopo la scasseratura e si è monitorata la massa, quindi la perdita di acqua nell'impasto, per le quattro settimane successive.

Si precisa che non sono state notate differenze di colorazione tra i provini aventi come aggregati i due campioni di trebbie di birra recuperati (CT1 e CT2), di conseguenza non sarà sottolineato il tipo di campione impiegato per l'impasto ma solamente la granulometria utilizzata. Inoltre si specifica che le percentuali di dosaggio degli elementi si riferiscono al volume del provino e non al peso. Di seguito verranno riportate le analisi condotte sui vari impasti, con i rispettivi dosaggi, e le considerazioni che hanno portato al mix design di D.R.I.N.C. Beer.

3.4.1 LE CAMPAGNE SPERIMENTALI

Le campagne sperimentali sono divisibili in sei serie di prove sperimentali.

La prima serie di prove ha portato al confezionamento di tre provini (P1, P2, P3. Vedi tabelle). Essa è stata condotta impiegando come aggregati le trebbie di birra non setacciate, quindi con granulometria ampia (0.2-6.3mm), e

PROVINO 1 - P1	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	35
Trebbie di birra (0.2-6.3)	40
	
ACQUA/CEMENTO	1
ADDITIVO	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	05/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.232 kg	ROTTURA PROVINO
PROVINO 2 - P2	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	30
Trebbie di birra (0.2-6.3)	45
	
ACQUA/CEMENTO	1
ADDITIVO	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	05/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.214 kg	ROTTURA PROVINO
PROVINO 3 - P3	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	20
Trebbie di birra (0.2-6.3)	55
	
ACQUA/CEMENTO	1
ADDITIVO	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	05/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.188 kg	ROTTURA PROVINO

sabbia silicea (0-2mm). Come legante, invece, il cemento Prompt in percentuale rispetto al volume pari al 25%. Infine il rapporto acqua/cemento di 1. I tre provini cambiano per le quantità, in percentuale nell'impasto (totale 100%), decrescenti di sabbia silicea (rispettivamente 35%, 30%, 20%) e crescenti di trebbie di birra (rispettivamente 40%, 45%, 55%). Essi sono stati un primo approccio alla sperimentazione per capire il comportamento di questo nuovo aggregato in un impasto tipo malta. Innanzitutto si specifica che i casseri non sono stati interamente riempiti probabilmente a causa di una errata determinazione, in laboratorio, della densità apparente del legante e della sabbia silicea. Dopo lo scasso dei provini si è notato un abbondante alleggerimento della massa (circa 0.100kg) rispetto a un provino, con le stesse caratteristiche, realizzato con legante PROMPT (25%) e sabbia silicea (75%). Contemporaneamente si sono riscontrati problemi di coesione dovuti alla granulometria non uniforme e in special modo ai granuli di trebbia di birra maggiori di 5mm che hanno generato vuoti all'interno dell'impasto. Ciò ha portato alla disgregazione dei campioni, dapprima agli angoli e poi, a seguito della perdita di acqua nel tempo, di tutto il provino. Non si è riscontrata una grande differenza nei tre impasti per le diverse quantità del sottoprodotto utilizzato come

PROVINO 4 - P4	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	55
Trebbie (3/4.99mm)	20
	
ACQUA/CEMENTO	1
ADDITIVO	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	12/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.302 kg	0.274 kg
PROVINO 5 - P5	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	45
Trebbie (3-4.99mm)	30
	
ACQUA/CEMENTO	1
ADDITIVO	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	12/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.276 kg	0.248 kg
PROVINO 6 - P6	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	40
Trebbie (3-4.99mm)	35
	
ACQUA/CEMENTO	1
ADDITIVO	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	12/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.254 kg	0.224 kg

aggregato, infatti per le prove successive sono state utilizzate prima le stesse, e poi altre dosi per riuscire a capirne meglio il comportamento.

Sussegue alla disgregazione dei primi tre campioni la **seconda serie di prove**. Questa ha prodotto nove provini (P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12). Vedi tabelle) e si differenzia dalla prima per l'utilizzo di trebbie di birra in granuli da 3mm a 4.99mm. E' stata scelta questa pezzatura poiché la più abbondante nei campioni di sottoprodotto recuperato; questa scelta faciliterebbe il recupero del residuo nell'ottica di una nuova filiera. Inoltre sono stati messi da parte i granuli con diametri maggiori di 5mm per ottenere una migliore coesione degli elementi. Per i provini P4, P5, P6, P7 si è sostanzialmente seguita la logica testata nella prima serie di prove. Troviamo quindi sabbia silicea rispettivamente al 55%, 45%, 40%, 35% in contrapposizione con l'aumento di quantità di trebbie, rispettivamente 20%, 30%, 35%, 40%. L'aumento delle percentuali di trebbie di birra ha reso l'impasto meno lavorabile per le proprietà igroscopiche dell'aggregato vegetale; si è riscontrata, infatti, una lavorabilità sensibilmente peggiorata nell'impasto 7. Per questo motivo nei provini P8 e P9, che hanno visto un aumento di trebbie, rispettivamente 45% e 55% (a discapito di quantità di sabbia silicea) il rapporto

PROVINO 7 - P7	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	35
Trebbie (3/4.99mm)	40
	ACQUA/CEMENTO
	1
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
12/11/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.250 kg	0.218 kg
PROVINO 8 - P8	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	30
Trebbie (3-4.99mm)	45
	ACQUA/CEMENTO
	1.2
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
12/11/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.234 kg	0.196 kg
PROVINO 9 - P9	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	20
Trebbie (3-4.99mm)	55
	ACQUA/CEMENTO
	1.2
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
12/11/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.210 kg	0.162 kg

acqua/cemento è stato aumentato a 1.2; ciò ha reso l'impasto più lavorabile. Questo dosaggio è stato aumentato nella successione di prove in base alla quantità di trebbie di birra presenti nell'impasto e rispetto a una granulometria più fine utilizzata. I provini P10, P11 e P12 sono stati prodotti aggiungendo all'impasto una percentuale di 5g di paglia di riso. Sulla base di sperimentazioni condotte su impasti cementizi [D. Faruku, J. Andreotti, 2018] la paglia di riso, usata come fibra per colmare gli interstizi, è stata utilizzata per risolvere problemi legati a fenomeni di ritiro e disgregazione. I suddetti provini hanno mantenuto un dosaggio complessivamente alto dell'aggregato vegetale (35%, 40%, 50%) di conseguenza è stato utilizzato un rapporto acqua/cemento di 1:2. Dopo lo scassero tutti i provini della seconda serie hanno mantenuto una buona aderenza tra gli elementi.

L'asciugatura, nelle tre settimane successive, ha comportato una perdita di massa da 0.028kg a 0.046kg. A essiccazione ultimata è stato notato, in tutti i provini, il distacco superficiale dei granuli e, in generale, scarsa coesione in ragione delle dimensioni e della forma delle trebbie di birra rispetto alla sabbia. Tutti i provini, ad eccezione del P11, a seguito di una leggera sollecitazione manuale si sono disgregati a causa degli interstizi nell'impasto. Si è notata, comunque, una migliore resistenza nei

PROVINO 10 - P10	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	35
Trebbie (3/4.99mm)	35
Paglia di riso (10mm)	5
	ACQUA/CEMENTO
	1.2
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
12/11/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.256 kg	0.212 kg
PROVINO 11 - P11	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	30
Trebbie (3/4.99mm)	40
Paglia di riso (10mm)	5
	ACQUA/CEMENTO
	1.2
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
12/11/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.246 kg	0.202 kg
PROVINO 12 - P12	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	20
Trebbie (3/4.99mm)	50
Paglia di riso (10mm)	5
	ACQUA/CEMENTO
	1.2
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
12/11/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.210 kg	0.164 kg

provini con percentuali di paglia di riso.

Questi aspetti hanno portato alla decisione di considerare una granulometria calibrata, inserendo percentuali differenti di pezzature di trebbie di birra nel conglomerato.

Per la **terza serie di prove** sono stati prodotti tre provini P13, P14, P15. Essi nascono dall'esigenza di individuare la dimensione migliore dei granuli di trebbie di birra. I provini hanno come unico aggregato il sottoprodotto in analisi in diverse granulometrie al fine di valutare il solo legame tra trebbie di birra e cemento PROMPT. I tre provini hanno un dosaggio di aggregato pari al 75%: il P13 è formato dalla granulometria più fine 0-1mm; in fase di impasto si è riscontrata una scarsa lavorabilità causata dalla presenza di solo aggregato vegetale, sebbene il rapporto acqua/cemento sia stato portato a 1:2. Per tale motivo questo rapporto nei provini P14 e P15 è stato aumentato a 1:4. Negli ultimi due campioni le fasce granulometriche utilizzate sono rispettivamente 0-2mm e 0-3mm. Tutti i provini, dopo lo scasso, risultano leggeri e coesi. Nel provino P13 (100% di granulometria fine) si è riscontrata una scarsa resistenza negli angoli a causa della scarsa idratazione del cemento dovuta all'assorbimento di acqua delle trebbie. Il provino migliore tra i tre, dopo il periodo di stagionatura,

PROVINO 13 - P13	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Trebbie (0-1mm)	75
	ACQUA/CEMENTO
	1.2
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	12/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.150 kg	0.104 kg

PROVINO 14 - P14	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Trebbie (0-2mm)	75
	ACQUA/CEMENTO
	1.4
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	12/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.162 kg	0.106 kg

PROVINO 15 - P15	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Trebbie (0-3mm)	75
	ACQUA/CEMENTO
	1.4
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	19/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.150 kg	0.109 kg

risulta essere il P15, poiché il più coeso. Questo aspetto è stato reso migliore da percentuali differenti di aggregato in cui la presenza di granulometrie fini riempiono gli spazi tra i granuli mentre granulometrie maggiori migliorano l'aderenza con il calcestruzzo. Risulta tuttavia necessaria la presenza di un altro aggregato, come la sabbia silicea per migliorarne la presa e l'indurimento. L'aumento della percentuale di acqua rende l'impasto più lavorabile, tuttavia 1:4 risulta essere il massimo utilizzabile per non compromettere i valori di resistenza a compressione della malta.

Nella **quarta serie di prove** si è seguita la logica impiegata nella seconda serie, ma utilizzando una granulometria calibrata per le trebbie di birra. È in questa fase che si è deciso di provare a sperimentare nell'impasto una granulometria calibrata in peso a quella della sabbia silicea (paragrafo 4.3), questo ha reso gli impasti più omogenei e, in un'ottica di filiera industrializzata, riproducibili in serie con le medesime caratteristiche. Fanno parte della quarta serie di prove i provini P16, P17, P18, P19 e P20. Il primo provino della serie ha un dosaggio maggiore di sabbia silicea (55%) rispetto all'aggregato vegetale (20%), di conseguenza si è mantenuto un rapporto acqua/cemento 1:1. Il P17 ha visto un aumento di trebbie di birra (40%) e anche della quantità

PROVINO 16 - P16	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	55
Trebbie (0-3mm)	20
	ACQUA/CEMENTO
	1
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	19/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.293 kg	0.277 kg

PROVINO 17 - P17	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	35
Trebbie (0-3mm)	40
	ACQUA/CEMENTO
	1.2
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	19/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.233 kg	0.214 kg

PROVINO 18 - P18	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Trebbie (0-3mm)	65
Paglia di riso (10mm)	5
	ACQUA/CEMENTO
	1.4
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	19/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.156 kg	0.147 kg

d'acqua. Il provino 19 è simile al P15, quindi con solo aggregato vegetale (65%), con l'aggiunta di una percentuale di fibre (5% di paglia di riso) e un aumento del dosaggio di acqua. Gli ultimi due provini seguono i dosaggi dei precedenti ma con l'aggiunta di paglia di riso, specificamente: il P19 segue il P16 e il P20 simile al P17. Questo passaggio è stato necessario per avere un quadro più completo del comportamento del sottoprodotto con granulometria calibrata. Dopo lo scasso, l'ultima serie risulta sicuramente migliore per coesione e resistenza rispetto alle serie precedentemente testate. I provini P16 e P19 risultano i più coesi per la percentuale più alta del dosaggio di sabbia silicea a discapito di una massa volumica apparente maggiore. I provini con percentuali minori di sabbia silicea appaiono meno resistenti a causa del ritiro veloce dell'impasto e quindi di microfessure che ne hanno condizionato la tenuta. Sebbene i provini siano coesi e resistenti a sollecitazioni manuali, si è notato un aumento di massa dovuto alle quantità maggiori di sabbia silicea (densità=1570 kg/m³).

Per la **quinta serie di prove** non è stata utilizzata sabbia silicea come inerte ma unicamente aggregato vegetale, inoltre ne è stato testato il comportamento con legante 100% calce. I dosaggi di legante sono stati aumentati a 60% p/p e si è

PROVINO 19 - P19	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	50
Trebbie (0-3mm)	20
Paglia di riso (10mm)	5
	ACQUA/CEMENTO
	1
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
19/11/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.278 kg	0.262 kg
PROVINO 20 - P20	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Sabbia silicea	35
Trebbie (0-3mm)	35
Paglia di riso (10mm)	5
	ACQUA/CEMENTO
	1.2
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
19/11/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.252 kg	ROTTURA PROVINO
PROVINO 21 - P21	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Calce idraulica	60
Trebbie (0-3mm)	40
	ACQUA/CALCE
	0.9
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
10/12/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.183 kg	0.130 kg

mantenuto un rapporto di acqua tra 0.9 e 1. Sono stati così prodotti quattro provini: P21, P22, P23 e P24. Il primo provino è costituito da solo calce idraulica e trebbie, rispettivamente al 60% e 40%; al secondo provino è stata aggiunta la paglia di riso come fibra. Gli ultimi due provini seguono i dosaggi dei precedenti ma la percentuale di legante è divisa tra calce idraulica e calce aerea (entrambe al 30%). Nel miscelatore, gli impasti, anche con un aumento del dosaggio acqua/legante, risultano molto densi. Dopo il periodo di essiccazione i provini restano coesi nella parte centrale ma si nota un distacco dell'aggregato negli angoli dei provini in cui non è presente la fibra. Quest'ultima, in particolare, risulta troppo presente nella consistenza dell'impasto a causa di stralci troppo lunghi. Tutti i provini si presentano con una colorazione nocciola, data dalla calce idraulica, più scura rispetto ai provini realizzati con cemento come legante. I campioni sono stati portati a rottura sotto una leggera sollecitazione manuale. La volontà di provare, nella sperimentazione, una malta a base calce, nasce dal proposito di realizzare una malta naturale; si ricorda però che il cemento Prompt è un cemento a base naturale e rappresenta un valido punto d'incontro tra le proprietà della calce e del cemento. In particolare ha migliore resistenza meccanica, lavorabilità

PROVINO 22 - P22	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Calce idraulica	60
Trebbie (0-3mm)	35
Paglia di riso (10mm)	5
	ACQUA/CALCE
	0.9
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
10/12/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.174 kg	0.124 kg
PROVINO 23 - P23	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Calce idraulica	30
Calce aerea	30
Trebbie (0-3mm)	40
	ACQUA/CALCE
	1
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
10/12/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.177 kg	0.127 kg
PROVINO 24 - P24	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Calce idraulica	30
Calce aerea	30
Trebbie (0-3mm)	35
Paglia di riso (10mm)	5
	ACQUA/CALCE
	1
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
	DATA PROVINO
10/12/2020	
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.161 kg	0.111 kg

e facilità di stesura rispetto alla calce ed è più igroscopico e traspirante rispetto al cemento Portland. Dopo queste considerazioni, si è deciso di non continuare in questa direzione per cercare di trovare una miscela ottimale, con la calce idraulica e aerea, ma di approfondire le sperimentazioni contemporaneamente condotte con legante Prompt.

La **sesta e ultima serie di prove** ha visto la produzione di sette campioni (P25, P26, P27, P28, P29, P30 e P31). La volontà di rendere la malta leggera e con proprietà specifiche, come un maggior isolamento termico, ha portato alla sperimentazione di questa ultima serie che ha visto la sostituzione della sabbia silicea (densità= 1570kg/m³) con la perlite espansa (densità= 75 kg/m³), e in termini di dosaggi, sia nei provini che nelle prove precedenti aveva dato buoni risultati. In particolare il P25 riprende le percentuali del P16 mentre il P26 quelli del P17 con l'aumento del dosaggio acqua/cemento portato a 1:4. I due provini successivi (P27 e P28) aggiungono ai primi due di questa serie la paglia di riso. Gli ultimi tre hanno visto l'aumento del legante al 28% e una diminuzione del dosaggio di fibra del 2%. Gli impasti presentano una buona lavorabilità e facilità di stesura. Dopo lo scasso i provini appaiono coesi e con una massa volumica minore rispetto agli

PROVINO 25 - P25	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Peralit 13	55
Trebbie (0-3mm)	20
	ACQUA/CEMENTO
	1.4
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	10/12/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.142 kg	0.090 kg
PROVINO 26 - P26	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Peralit 13	35
Trebbie (0-3mm)	40
	ACQUA/CEMENTO
	1.4
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	10/12/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.150 kg	0.100 kg
PROVINO 27 - P27	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Peralit 13	50
Trebbie (0-3mm)	20
Paglia di riso (10mm)	5
	ACQUA/CEMENTO
	1.4
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	10/12/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.132 kg	0.100 kg

stessi confezionati con la sabbia silicea. Dopo il periodo di maturazione il P26 e il P28 hanno subito il distacco superficiale dei granuli dovuto alla presenza di un quantitativo troppo alto di aggregato vegetale (rispettivamente 40% e 35%). Per avere una buona coesione il dosaggio delle trebbie di birra in un impasto deve essere minore del 30% rapportato al volume, soprattutto se mescolato con la perlite che ha una densità molto più bassa rispetto al sottoprodotto in analisi. Negli ultimi tre campioni la percentuale maggiore di legante voleva essere una prova per verificare un aumento della resistenza meccanica; terminato, però, il periodo di stagionatura, i campioni P28 e P30 hanno visto la disgregazione degli angoli e la polverizzazione di alcune parti a causa di una non omogenea asciugatura, e piccole fessure in corrispondenza delle facce a causa di una cattiva idratazione del Prompt e alti

PROVINO 28 - P28	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	25
Peralit 13	35
Trebbie (0-3mm)	35
Paglia di riso (5mm)	5
	ACQUA/CEMENTO
	1.4
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	15/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
0.150 kg	0.084 kg

dosaggi di trebbie di birra. I provini P29 e P31 sono rimasti coesi, tuttavia, hanno evidenziato la presenza di microfessure superficiali.

PROVINO 29 - P29	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	28
Peralit 13	55
Trebbie (0-3mm)	14
Paglia di riso (5mm)	3
	ACQUA/CEMENTO
	1.4
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	15/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
-	0.053 kg
PROVINO 31 - P31	
INGREDIENTI	% DOSAGGI
Cemento PROMPT	28
Peralit 13	49
Trebbie (0-3mm)	20
Paglia di riso (5mm)	3
	ACQUA/CEMENTO
	1.4
	ADDITIVO
	3g ACIDO CITRICO
DATA PROVINO	15/11/2020
PESO INIZIALE	PESO DOPO 28 gg
-	0.055 kg

NOTE
 [15] UNI EN 1015-2:2007 "Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 2: Campionamento globale delle malte e preparazione delle malte di prova"
 [16] EN 196-1 "Metodi di prova dei cementi - Parte 1: Determinazione delle resistenze meccaniche"
 [17] UNI EN 1015-11:2019 "Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 11: Determinazione della resistenza a flessione e a compressione della malta indurita"

3.4.2 RISULTATI

Analizzato il comportamento delle trebbie di birra in un impasto, si è stabilito che il rispetto di alcuni punti è necessario per il confezionamento di una malta cementizia coesa:

- Utilizzare una granulometria calibrata composta da parte fine e grossolana ma comunque con diametro dei granuli inferiore a 3mm affinché siano ridotti gli interstizi nell'impasto.
- L'utilizzo di fibre sotto forma di paglia di riso risulta una buona soluzione per ovviare problemi di disgregazione in impasti coesi. La lunghezza massima degli stralci non deve superare i 5mm.
- Il giusto rapporto acqua/cemento risulta essere di 1:4 a causa del comportamento igrofilo del sottoprodotto; ciò rende l'impasto più lavorabile ma non compromette la resistenza meccanica del legante.

I risultati della campagna sperimentale portano a quattro provini coesi, di questi due sono le varianti che sono state scelte per il confezionamento di D.R.I.N.C. Beer. I provini P25 e P27 differenziano per il quantitativo di fibre presenti nel secondo rispetto al primo.

Nella TABELLA_17 vengono illustrate le percentuali in volume delle diverse materie prime che li compongono con le rispettive percentuali in peso.

Le sigle che identificheranno i provini nel

seguito capitolo saranno:

- D.R.I.N.C. B_25 per il provino P25.
- D.R.I.N.C. B_27 per il provino P27.

DRINC B_25		
Materie prime	%v/v	%p/p
Cemento PROMPT	25	72
Perlite	55	13
Trebbie di birra	20	15

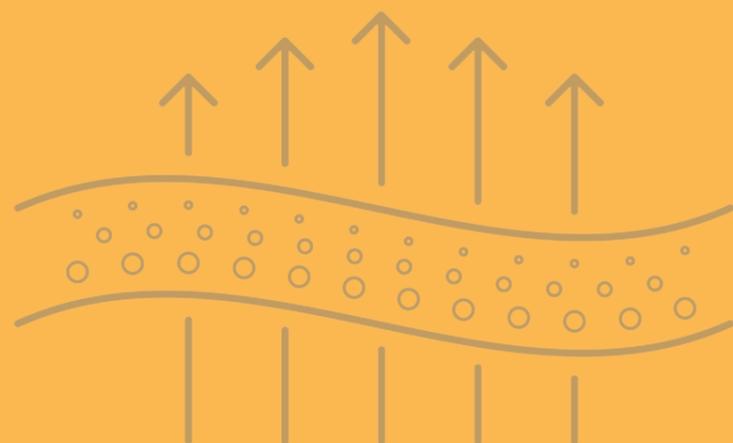
DRINC B_27		
Materie prime	%v/v	%p/p
Cemento PROMPT	25	72
Perlite	50	11
Trebbie di birra	20	15
Paglia di riso	5	2

Tabella_17 Miscele con i componenti in percentuale in volume e in peso di DRINC Beer.

Una volta definite le formulazioni base per le ricette costituenti le due nuove malte D.R.I.N.C. Beer, è stato possibile effettuare le prove per capirne le caratteristiche seguendo la norma UNI EN 998-1:2016 "Specifiche per malte per opere murarie - Parte 1: Malte per intonaci interni ed esterni". Per l'esecuzione di alcune di queste prove sono stati prodotti in laboratorio 15 provini (FIGURA_19) per entrambe le miscele. Dopo lo scasso ne è stata monitorata l'asciugatura per i successivi 25 giorni. La perdita d'acqua per i D.R.I.N.C. B_25 è stata mediamente di 84g mentre per D.R.I.N.C. B_27 di 86g.



Figura_19 Riproduzione in serie dei provini da sottoporre a test



VERIFICHE PRESTAZIONALI SU D.R.I.N.C. BEER

In questo capitolo vengono riportate le analisi effettuate sulla malta appena impastata e indurita, al fine di definire le caratteristiche termofisiche di D.R.I.N.C. Beer. L'obiettivo è quello di classificare l'oggetto di questo studio nella categoria di intonaco ad alte prestazioni termiche, secondo gli standard normativi vigenti specificati nella UNI EN 998-1:2013 e attuati dal pacchetto della UNI EN 1015.

Le analisi sono state condotte presso il Laboratorio Sistemi Tecnologici Innovativi del Politecnico di Torino.

La prova per stabilire la conduttività termica è stata realizzata presso il Dipartimento Energia (DENERG) del Politecnico di Torino.



4.1 ANALISI SULLA MALTA FRESCA

Tutti i campioni di malta fresca utilizzati sono stati preparati con il medesimo procedimento, attuato per il confezionamento dei provini, descritti nel paragrafo 3.1; e quindi a partire da costituenti secchi e acqua in conformità al punto 6 della UNI EN 1015-2:2007 “Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 2: Campionamento globale delle malte e preparazione delle malte di prova.”

Le prove realizzate su campioni di malta fresca, o malte appena impastate, comprendono le analisi per la determinazione della consistenza, della massa volumica apparente, del contenuto d'aria e del tempo di lavorabilità.

La UNI EN 1015-3:2007 “Metodi di prova per malte per opere murarie. Parte 3: **Determinazione della consistenza della malta fresca**” specifica la metodologia per determinare la consistenza di malte appena impastate. Il valore di consistenza influisce sulla lavorabilità e la successiva posa in opera della malta, esso rappresenta la fluidità della malta fresca. La consistenza viene indicata come il diametro medio tra più campioni di prova

posizionati per mezzo di uno stampo troncoconico su un disco di una tavola a scosse, e sottoposto a un certo numero di impatti verticali.

La malta uscente dall'impastatrice è stata rimescolata manualmente per 10 secondi al fine di contrastare fenomeni di rapprendimento; successivamente è stata introdotta in uno stampo troncoconico (FIGURA_1), conforme alla normativa, avente altezza di 60 mm e diametro esterno di 100 mm, e assestata attraverso dieci colpi di pestello. Lo stampo è stato posizionato su una superficie ampia, e rimosso dopo 15 secondi (FIGURA_2). In mancanza della tavola a scosse, il campione è stato posizionato su una tavola vibrante e sottoposto per 15 secondi a impatti verticali indotti manualmente, azionando la macchina a una frequenza di circa un colpo al secondo.

Al termine della prova è stato misurato il diametro di ogni campione di malta, in due direzioni perpendicolari mediante un calibro (FIGURA_3). La prova è stata ripetuta su due campioni di malta per ogni impasto in esame.

Il valore di consistenza dichiarato per D.R.I.N.C. Beer rappresenta una media tra le quattro misurazioni ottenute su due campioni selezionati per ogni impasto.

La fluidità per D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27 risulta essere di 13 cm (TABELLA_1).

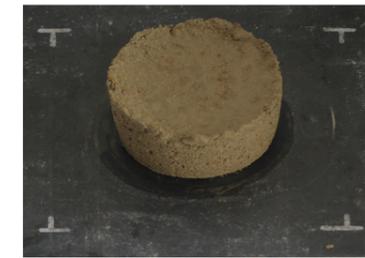
Si precisa che l'attrezzatura utilizzata, in particolare la tavola a scosse,

1



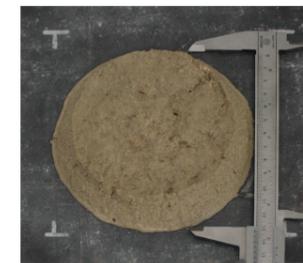
FIGURA_1 Immissione della malta nello stampo troncoconico

2



FIGURA_2 Scassero dei campioni dopo 15 secondi

3



FIGURA_3 Misurazione del diametro dei campioni mediante calibro, al termine della prova.

D.R.I.N.C. B_25

D.R.I.N.C. B_27

CAMPIONE	MISURA 1	MISURA 2	MEDIA
D.R.I.N.C. B_25_1A	12.5 cm	13.1 cm	12.8 cm
D.R.I.N.C. B_25_2A	13.2 cm	13.2 cm	13.2 cm
D.R.I.N.C. B_27_1B	12.5 cm	12.8 cm	12.6 cm
D.R.I.N.C. B_27_2B	13.6 cm	13.4 cm	13.5 cm

MALTA	VALORE DI CONSISTENZA
D.R.I.N.C. B_25	13 cm
D.R.I.N.C. B_27	13 cm

TABELLA_1 Parametri per determinare i valori di consistenza della malta

non è conforme alla norma UNI EN 1015:3, sebbene ne segua la logica. Di conseguenza i buoni risultati di questa prova vengono considerati solo

orientativi poiché potrebbero subire delle variazioni qualora la prova venisse ripetuta con l'attrezzatura conforme.

In base ai valori di consistenza ottenuti, entrambe le malte vengono catalogate come malte rigide (TABELLA_2).

La UNI EN 1015-6:2007 “Metodi di prova per malte per opere murarie. Parte 6:

Determinazione della massa volumica apparente della malta fresca” specifica metodi da utilizzare per definire la massa volumica apparente di malte appena impastate a base di aggregati sia normali che leggeri.

La massa volumica apparente viene determinata attraverso il rapporto tra la massa del campione e il volume che occupa quando viene introdotto in un recipiente avente capacità nota.

La norma stabilisce un metodo per la determinazione di questo valore partendo dal parametro dello scorrimento (TABELLA_2). La Tabella 3 collega i valori ottenuti dalla

prova determinante la consistenza e la metodologia da utilizzare per determinare la massa volumica apparente: riempimento e costipazione della malta all'interno di un recipiente mediante vibrazione.

Il campione di malta uscente dal miscelatore, è stato introdotto in un recipiente cilindrico avente capacità 1 l. Il contenitore è stato posto su un tavolo vibrante e riempito con altra malta fino al completo assestamento della stessa. La malta in eccesso è stata rimossa con una spatola. Al termine della prova è stato identificato il parametro m_2 come il peso del contenitore riempito con la malta, arrotondando la misura al più prossimo 1g.

Sono state effettuate due prove per ciascun campione di D.R.I.N.C. Beer.

Per determinare le quattro masse volumiche apparenti (ρ_m), è stata utilizzata

la seguente formula:

$$\rho_m = (m_2 - m_1) / V_v$$

in cui:

m_1 rappresenta la massa del recipiente vuoto, uguale per tutte le misurazioni:

$$m_1 = 63,51 \text{ g}$$

V_v è il volume del recipiente di misurazione:

$$V_v = 1 \text{ l}$$

m_2 è la massa del recipiente riempito con la malta.

Nel seguente passaggio viene riportato, a titolo esemplificativo, il calcolo della massa volumica apparente del primo campione di D.R.I.N.C. B_25.

$$m_2 = 1081,46 \text{ g}$$

$$\rho_{m,D.B.25,1} = (1081,46 - 63,51) \text{ g} / 0,001 \text{ m}^3 = 1018 \text{ kg/m}^3$$

Nella TABELLA_4 sono riportati i dati individuali relativi alle masse m_2 e i relativi valori di ρ_m .

CAMPIONE	m_2 (g)	ρ_m (kg/m ³)
D.R.I.N.C. B_25_1	1081,46	1018
D.R.I.N.C. B_25_2	1101,12	1037
D.R.I.N.C. B_27_1	1217,81	1154
D.R.I.N.C. B_27_2	1201,75	1138

TABELLA_4 Valori calcolati della massa volumica apparente per due campioni di ogni miscela

Il valore dichiarato relativo alla massa volumica apparente delle miscele D.R.I.N.C. Beer appena impastate è stato ottenuto come valore medio tra le due misure e arrotondato al più prossimo 10 kg/m³ (TABELLA_5).

CAMPIONE	ρ_m (kg/m ³)
D.R.I.N.C. B_25	1030
D.R.I.N.C. B_27	1150

TABELLA_5 Massa volumica apparente

La UNI EN 1015-7:2000 “Metodi di prova per malte per opere murarie. Parte 7:

Determinazione del contenuto d'aria della malta fresca” specifica due metodi operativi: “Metodo A - metodo a pressione” e “Metodo B - metodo con l'alcole”.

Il metodo A viene utilizzato per malte aventi un contenuto d'aria dichiarato minore al 20%, il metodo B per contenuti maggiori o uguali al 20%. Il tempo di lavorabilità può essere messo in relazione con l'indice di porosità totale della malta indurita.

Per l'esecuzione della prova è stato utilizzato il metodo con l'alcole. Un recipiente tarato è stato riempito con 200 ml (FIGURA_4) di malta appena impastata, che è stata picchiettata e ne è stato annotato il volume ($V_{m,i}$).

Una miscela di alcole etilico e acqua (rispettivamente 60% e 40%) è stata versata sulla superficie superiore della malta, fino al raggiungimento del segno dei 500 ml del recipiente (FIGURA_5), successivamente chiuso con un tappo in silicone. Il recipiente, chiuso ermeticamente, è stato capovolto venti volte per assicurare la completa dispersione della malta nella miscela (FIGURA_6). In questo modo la miscela viene forzata dentro la malta e l'aria viene rimossa dai pori interni. Il composto è stato lasciato riposare per 5 minuti, successivamente è stato annotato il livello della superficie ($V_{m,f}$). Quest'ultimo rappresenta il volume d'aria rimosso dalla malta.

Le misurazioni sono state effettuate su un campione per ciascuna miscela di D.R.I.N.C. Beer; il processo è

CONSISTENZA ALL'ATTO DELL'APPLICAZIONE	VALORE DELLO SCORRIMENTO (mm)	PROCEDIMENTO
MALTA RIGIDA	Minore di 140 mm	Riempimento e costipazione mediante vibrazione
MALTA PLASTICA	Da 140 mm a 200 mm	Riempimento e costipazione con il metodo della percussione
MALTA TENERA	Maggiore di 200 mm	Riempimento e costipazione manuale

TABELLA_2 Procedimenti per la derminazione della massa volumica apparente della malta fresca esplicitati dalla norma

VALORE DELLO SCORRIMENTO D.R.I.N.C. Beer	CONSISTENZA ALL'ATTO DELL'APPLICAZIONE	METODO
D.R.I.N.C. B_25 = 13 mm	MALTA RIGIDA	Riempimento e costipazione mediante vibrazione
D.R.I.N.C. B_27 = 13 mm	MALTA RIGIDA	

TABELLA_3 Metodologia da utilizzare per il calcolo della massa volumica apparente in base ai valori di scorrimento ottenuti per le miscele D.R.I.N.C. Beer

stato ripetuto fino al raggiungimento di due letture consecutive con scarto minore di 1 ml.

Il contenuto d'aria finale (L) dichiarato rappresenta il valore medio tra le due letture dello stesso impasto.

I volumi ottenuti durante le sperimentazioni sono stati inseriti nella seguente formula:

$$L = \{(500 - V_{m,f}) / V_{m,i}\} * 100\%$$

CAMPIONI	V _{m,i} (ml)	V _{m,f} (ml)	L (%)
D.R.I.N.C. B_25_01	198	450	25
D.R.I.N.C. B_25_02	198	460	21
D.R.I.N.C. B_27_01	200	445	27
D.R.I.N.C. B_27_02	200	440	30

MALTA	CONTENUTO D'ARIA
D.R.I.N.C. B_25	23 %
D.R.I.N.C. B_27	28 %

TABELLA_6 Contenuto d'aria delle miscele D.R.I.N.C. Beer

Di seguito viene calcolata la prima misurazione del contenuto d'aria di D.R.I.N.C. B_25_1.

$$L_{D.B.25_1} = [(500 - 450 \text{ ml}) / 198 \text{ ml}] * 100\% = 25.25\%$$

Nella Tabella 6 vengono riportati i volumi iniziali e finali della miscela e i relativi valori del contenuto d'aria.



FIGURA_4 Recipiente riempito con circa 200 ml di malta



FIGURA_5 Recipiente riempito con malta e miscela alcole/acqua



FIGURA_6 Miscela lasciata sedimentare

1

2

3

La UNI EN 1015:9:2007 “Metodi di prova per malte per opere murarie. Parte 9: **Determinazione del tempo di lavorabilità della malta fresca**” specifica tre metodologie, per calcolare questo parametro, che variano in funzione dello spessore dello strato di applicazione della malta. La determinazione del tempo di lavorabilità, per penetrazione, spandimento o per adesione della malta fresca misurata a istanti successivi, consente di ottimizzare la gestione dei processi di produzione della malta, la durata della lavorazione in cantiere e di ridurre al minimo gli sprechi di materia prima.

È stato adoperato il metodo A - “Tempo di lavorabilità della malta per uso comune”, secondo cui questo parametro viene definito in funzione del tempo che la malta impiega per raggiungere il limite di resistenza alla penetrazione di un’asta di 0,5 N/mm², forzata nella malta.

La malta fresca è stata inserita in un cilindro avente diametro di 100 mm e altezza di 50 mm, posizionato perpendicolarmente sotto l’asta di penetrazione, lasciando uno spazio di 20 mm tra la punta dell’asta e la superficie superiore dello stampo. L’asta ha un diametro di 5 mm e lunghezza pari a 65 mm. Lo stampo è stato riempito con 10 incrementi di malta e la superficie è stata rasata e livellata rispetto al bordo superiore. L’apparato è stato posizionato su una bilancia di precisione da



FIGURA_7 Attrezzatura prima dell'inizio della prova per la determinazione del tempo di lavorabilità



FIGURA_8 Lettura della massa al termine della prova per determinare il tempo di lavorabilità

laboratorio al fine di annotare la perdita di massa (FIGURA_7); la bilancia è stata tarata per un peso complessivo di 5,14 kg. L'asta è stata poi abbassata fino a toccare la malta; è stata annotata la prima lettura della massa in kilogrammi (FIGURA_8). La penetrazione è stata registrata a intervalli regolari di 15 minuti fino a quando la resistenza alla penetrazione dell'asta è risultata di 0,5 N/mm².

Le letture in kilogrammi sono state portate in N/mm² dividendo la massa per 3.

Il monitoraggio è stato effettuato per D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27.

La Tabella 7 riporta il cambiamento di massa e di resistenza in funzione del tempo dei due campioni di malta in esame.

D.R.I.N.C. B_25		
massa iniziale comprensiva di asta = 0.330 kg		
TEMPO (min)	MASSA (kg)	RESISTENZA (N/mm ²)
0	0.330	1.078
10	0.332	1.088
25	0.326	1.068
40	0.322	1.049
55	0.318	1.039
70	0.294	0.96
85	0.270	0.88
100	0.262	0.85
115	0.254	0.83
130	0.246	0.80
145	0.230	0.75
160	0.214	0.70
175	0.203	0.67
190	0.187	0.61
205	0.171	0.56
220	0.160	0.52
235	0.154	0.50

Tempo di lavorabilità > 90 min

D.R.I.N.C. B_27		
massa iniziale comprensiva di asta = 0.320 kg		
TEMPO (min)	MASSA (kg)	RESISTENZA (N/mm ²)
0	0.320	1.050
10	0.322	1.052
25	0.282	0.92
40	0.278	0.91
55	0.274	0.89
70	0.256	0.83
85	0.236	0.75
100	0.228	0.74
115	0.218	0.71
130	0.210	0.69
145	0.194	0.64
160	0.178	0.58
175	0.162	0.53
190	0.156	0.51
205	0.152	0.49

Tempo di lavorabilità > 90 min

TABELLA_7 Calcolo per il tempo di lavorabilità di D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27

4.2 ANALISI SULLA MALTA INDURITA

I provini utilizzati per le analisi sulla malta indurita sono stati realizzati nella fase sperimentale; miscelati seguendo le disposizioni della UNI EN 1015-2, scasserati dopo tre giorni e lasciati maturare per venticinque giorni prima di essere sottoposti alle analisi. Per ulteriori precisazioni sul confezionamento si rimanda al paragrafo 4.4.7.

Le prove effettuate sulla malta indurita comprendono la determinazione della massa volumica apparente, della resistenza a flessione e a compressione, del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità, della permeabilità al vapore d'acqua, della conducibilità termica e della compatibilità delle malte monostrato per esterni.

La UNI EN 1015-10:2007 "Metodi di prova per malte per opere murarie. Parte 10: **Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita essiccata**" descrive un metodo per determinare il valore della massa volumica apparente come rapporto tra il peso del campione sottoposto ad asciugatura in forno e il volume che occupa.

Il test è stato eseguito su tre provini

prismatici (FIGURA_9), per ogni malta in esame, di dimensione 40mmx40mmx160mm.

Per l'esecuzione della prova, ogni provino, dopo il periodo di stagionatura, è stato ulteriormente sottoposto a essiccazione forzata in forno statico a circa 60 °C, fino al raggiungimento della massa costante. Essa si consegue quando due pesate consecutive, distanti 2h in fase di essiccazione in forno, risultano differire di meno dello 0.2%.

La massa volumica apparente è data quindi dal rapporto tra la massa costante ($m_{s,dry}$) e il volume del campione, preso come volume dello stampo (V_s); è stata calcolata con la formula:

$$\rho_w = m_{s,dry} / V_s$$

in cui:

$$V_s = 256 \times 10^{-6} m^3$$

Tutti i provini hanno raggiunto massa costante dopo 2h di essiccazione in forno, successivamente verificata a distanza di altre 2h. È stata poi calcolata la massa volumica apparente degli intonaci D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27 come media aritmetica della massa volumica apparente calcolata sui tre singoli provini (TABELLA_8).



FIGURA_9 Tre provini sottoposti ad analisi

PROVINO	MASSA DOPO 28gg (kg)	MASSA DOPO 2h a 60 °C (kg)	MASSA (m _{s,dry}) DOPO 4h a 60°C (kg)	VOLUME V _s (m ³)	MASSA VOLUMICA APPARENTE (kg/m ³)
D.R.I.N.C. B_25_1	0.142	0.139	0.140	256x10 ⁻⁶	547
D.R.I.N.C. B_25_2	0.145	0.142	0.142	256x10 ⁻⁶	555
D.R.I.N.C. B_25_3	0.144	0.141	0.141	256x10 ⁻⁶	551
D.R.I.N.C. B_27_1	0.148	0.145	0.145	256x10 ⁻⁶	566
D.R.I.N.C. B_27_2	0.143	0.140	0.140	256x10 ⁻⁶	547
D.R.I.N.C. B_27_3	0.146	0.144	0.144	256x10 ⁻⁶	562

MALTA	MASSA VOLUMICA APPARENTE (ρ _w)
D.R.I.N.C. B_25	551 kg/m ³
D.R.I.N.C. B_27	558 kg/m ³

TABELLA_8 Massa volumica apparente D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27

La UNI EN 1015-11:2019 “Metodi di prova per malte per opere murarie. Parte 11: **Determinazione della resistenza a flessione e a compressione della malta indurita**” specifica un metodo per valutare le resistenze meccaniche di tre provini di malta indurita a 28 gg aventi dimensioni 40mmx40mmx160mm. Entrambe le prove sono state realizzate con pressa universale con misuratore a pendolo Metro Com Engineering a comando idraulico, avente carico massimo di 300 kN (FIGURA_10). La resistenza a flessione è stata calcolata poiché la norma stabilisce di dover effettuare la prova a compressione sulle metà dei provini ottenuti dalla prova a flessione. Questo valore, però, è trascurabile per l'intrinseca scarsa resistenza a flessione delle malte.

La prova a flessione è una prova a 3 punti distruttiva; è stata calcolata su tre provini per le due malte D.R.I.N.C. Beer, precedentemente utilizzati per il calcolo della massa volumica apparente (TABELLA_8).

Il provino è stato posizionato con una faccia laterale su due rulli di appoggio, aventi diametro di 10 mm, e con la sua asse longitudinale normale ai supporti. Per normativa la distanza dei due punti deve essere di 100 mm. Il prisma è stato posizionato centralmente in corrispondenza della mezzeria di un terzo rullo superiore, delle medesime dimensioni di quelli precedenti, tramite cui viene applicato il carico verticale (FIGURA_11).

Sul provino è stata preventivamente segnata la mezzeria per il suo corretto

posizionamento sugli appoggi.

La norma indica che il carico deve essere applicato a una velocità uniforme nell'intervallo da 10N/s a 50N/s; tuttavia vista la natura dei provini, si è deciso di applicare un carico notevolmente più basso, rispetto all'intervallo della normativa, pari a 0,5 N/s, fino alla rottura. In modo che la rottura del provino segua i limiti imposti da normativa e si verifichi tra i 30 s e i 90 s dal momento di applicazione del carico (FIGURA_12/18).

Nella Tabella 9 sono riportati i carichi massimi registrati dalla macchina e i secondi di resistenza per i provini sottoposti alla prova.

Successivamente, la resistenza a flessione (f) per ogni provino è stata calcolata utilizzando la formula seguente:

$$f \text{ (N/mm}^2\text{)} = [1,5 (F \cdot l) / (b \cdot d^2)]$$

dove:

F (N) è il carico massimo applicato;

l (mm) è la distanza tra i due rulli di appoggio (sempre 100 mm);

b (mm) è la larghezza del provino (sempre 40 mm);

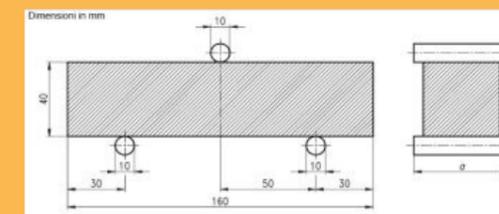
d (mm) è la profondità del provino (sempre 40 mm).

A titolo esemplificativo di seguito viene riportato il calcolo della resistenza a flessione per il provino D.R.I.N.C.B_25_1:

$$f_{D,B_25:1} = [1,5 (30 \cdot 100) / (40 \cdot 40^2)] = 0,07 \text{ N/mm}^2$$



FIGURA_10 Pressa universale Metro Com Engineering



FIGURA_11 Corretto posizionamento dei provini sulla macchina in base alla norma UNI EN 1015-11



FIGURA_12 Provino D.R.I.N.C. B_25 prima della prova



FIGURA_13 Provino D.R.I.N.C. B_25 al termine della prova

Nella Tabella 10 sono riportati i valori della resistenza a flessione per tutti i provini.

I valori di carico massimo applicati sono molto bassi, anche rispetto alla bassa resistenza a flessione che caratterizza le malte, probabilmente per l'alto rapporto acqua/cemento utilizzato. Si precisa, inoltre, che l'attrezzatura utilizzata non registra valori precisi, se così bassi.

La resistenza a flessione per ogni malta è definita come la media aritmetica tra i valori dei tre provini espressi al più prossimo 0,1 N/mm², e risulta essere:
 D.R.I.N.C. B_25 = 0.08 N/mm² = 0.1 MPa;
 D.R.I.N.B. B_27 = 0.09 N/mm² = 0.1 MPa.

PROVINI	CARICO MASSIMO (N)	TEMPO DI ROTTURA (s)
D.R.I.N.C B_25_1	30	62
D.R.I.N.C B_25_2	40	88
D.R.I.N.C B_25_3	40	86
D.R.I.N.C B_27_1	40	90
D.R.I.N.C B_27_2	40	73
D.R.I.N.C B_27_3	40	89

TABELLA_9 Carichi massimi registrati e tempi di rottura dei provini D.R.I.N.C. Beer - Prova a flessione

PROVINI	CARICO MASSIMO, F (N)	RESISTENZA A FLESSIONE, f (N/mm ²)
D.R.I.N.C B_25_1	30	0.07
D.R.I.N.C B_25_2	40	0.09
D.R.I.N.C B_25_3	40	0.09
D.R.I.N.C B_27_1	40	0.09
D.R.I.N.C B_27_2	40	0.09
D.R.I.N.C B_27_3	40	0.09

MALTA	RESISTENZA A FLESSIONE
D.R.I.N.C. B_25	0.08 N/mm ²
D.R.I.N.C. B_27	0.09 N/mm ²

TABELLA_10 Valori di esistenza a flessione



FIGURA_14 Rottura provino D.R.I.N.C. B_25



FIGURA_15 Rottura provino D.R.I.N.C. B_25



FIGURA_16 Provino D.R.I.N.C. B_27 prima della prova



FIGURA_17 Provino D.R.I.N.C. B_27 al termine della prova



FIGURA_18 Rottura provino D.R.I.N.C. B_27

I dodici mezzi prismi, chiamati monconi destri e sinistri, ottenuti dalla prova a flessione sono stati utilizzati per la prova a compressione.

La prova a compressione è distruttiva e consente di determinare il carico massimo applicabile al provino prima del suo cedimento. La resistenza a compressione si ottiene dividendo il carico massimo supportato dal provino per la sua sezione resistente, ovvero l'area trasversale alla lastra di appoggio. Poiché quest'area ha dimensione 40mmx40mm, la sezione resistente risulta essere, per tutti i mezzi provini, 1600 mm².

Per prima cosa, è stato necessario sostituire, nella pressa idraulica automatica, l'accessorio, ovvero i tre rulli utilizzati nella prova a flessione con due lastre di appoggio.

Ogni provino è stato posizionato centralmente rispetto alla lastra superiore e alla lastra inferiore.

È stata impostata una velocità di carico pari a 10 N/s; il carico è stato aumentato fino alla rottura del provino.

L'insieme di figure riportate (FIGURA_19/22) mostra un esempio di collasso per un provino di D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27.

Sul monitor della macchina di prova è stato possibile leggere il carico massimo applicato e le deformazioni in funzione del tempo, restituite al secondo.

Nella Tabella 11 sono stati riportati i carichi massimi di rottura (N) e il tempo



FIGURA_19 Moncone D.R.I.N.C. B_25 prima della prova



FIGURA_20 Moncone D.R.I.N.C. B_25 al termine della prova



FIGURA_21 Moncone D.R.I.N.C. B_27 prima della prova



FIGURA_22 Moncone D.R.I.N.C. B_27 al termine della prova

di resistenza (s) per ogni mezzo provino. I carichi di rottura a compressione (TABELLA_11) risultano nettamente maggiori rispetto a quelli a tensione (TABELLA_10); dato prevedibile intrinseco nel comportamento di resistenza meccanica dei materiali fragili come le malte.

Successivamente, noto il carico massimo e la superficie di contatto della pressa, è stata calcolata la resistenza a compressione per ogni campione con la seguente formula:

$$R_c = \text{carico massimo [N]} / \text{sezione resistente [mm}^2\text{]}$$

A titolo esemplificativo, di seguito è stato riportato il calcolo per la resistenza a compressione del provino D.R.I.N.C B_25_1A che ha raggiunto un carico massimo di 0,65 kN:

$$R_{c,B_25_1A} = 650 \text{ [N]} / 1600 \text{ [mm}^2\text{]} = 0.40 \text{ MPa}$$

Nella Tabella 12 sono state riportate le resistenze a compressione di tutti i mezzi provini, approssimati allo 0,05 N/mm². La resistenza a compressione della malta D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27 è data dalla media delle resistenze calcolate su i sei mezzi prismi, al più prossimo 0,1 N/mm².

I valori ottenuti dalla macchina di prova, sono stati riportati in un grafico

MONCONI	CARICO MASSIMO (N)	TEMPO DI ROTTURA (s)
D.R.I.N.C B_25_1A	650	60
D.R.I.N.C. B_25_2A	680	65
D.R.I.N.C. B_25_1B	690	73
D.R.I.N.C. B_25_2B	660	70
D.R.I.N.C. B_25_1C	660	67
D.R.I.N.C. B_25_2C	670	65
D.R.I.N.C B_27_1A	740	86
D.R.I.N.C. B_27_2A	760	88
D.R.I.N.C. B_27_1B	780	86
D.R.I.N.C. B_27_2B	850	90
D.R.I.N.C. B_27_1C	930	84
D.R.I.N.C. B_27_2C	790	88

TABELLA_11 Carichi massimi registrati e tempi di rottura dei provini D.R.I.N.C. Beer - Prova a compressione

MONCO	CARICO MASSIMO, F (N)	RESISTENZA A COMPRESSIONE R _c (N/mm ²)
D.R.I.N.C B_25_1A	650	0.40
D.R.I.N.C B_25_2A	680	0.42
D.R.I.N.C B_25_1B	690	0.43
D.R.I.N.C. B_27_2B	660	0.41
D.R.I.N.C. B_27_1C	660	0.41
D.R.I.N.C. B_27_2C	670	0.42

D.R.I.N.C B_25_1A	740	0.46
D.R.I.N.C B_25_2A	760	0.47
D.R.I.N.C B_25_1B	780	0.49
D.R.I.N.C. B_27_2B	850	0.53
D.R.I.N.C. B_27_1C	930	0.58
D.R.I.N.C. B_27_2C	790	0.49

MALTA	RESISTENZA A COMPRESSIONE
D.R.I.N.C. B_25	0.41 N/mm ²
D.R.I.N.C. B_27	0.50 N/mm ²

TABELLA_12 Valori di esistenza a compressione

forza applicata/tempo e un grafico deformazione/tempo. I due diagrammi sono stati confrontati per stabilire se l'incremento di carico e l'incremento di deformazione, per tutti i provini, sia stato costante. Dalla comparazione dei grafici riportati (FIGURA_23 e TABELLA_13) è stata riscontrata una tendenza costante della retta; ciò implica che tutti i provini sono stati deformati (abbassati) al crescere del carico. Tale andamento cessa con la rottura del provino, dove il carico inizia a diminuire e le deformazioni ad aumentare velocemente.

La media dei valori registrati, ha permesso la restituzione sottoforma di un grafico tensione/deformazione caratterizzante D.R.I.N.C. B_25_1A e D.R.I.N.C. B_25_1B (FIGURA 24).

I valori delle resistenze a compressione dei sei prismi risultano confrontabili, ciò indica un'esecuzione regolare della prova e un corretto confezionamento dei provini.

La resistenza a compressione per ogni malta è definita come la media aritmetica tra i valori dei sei monconi espressi al più prossimo 0,1 N/mm², e risulta essere:

D.R.I.N.C. B_25 = 0.41 N/mm² ;

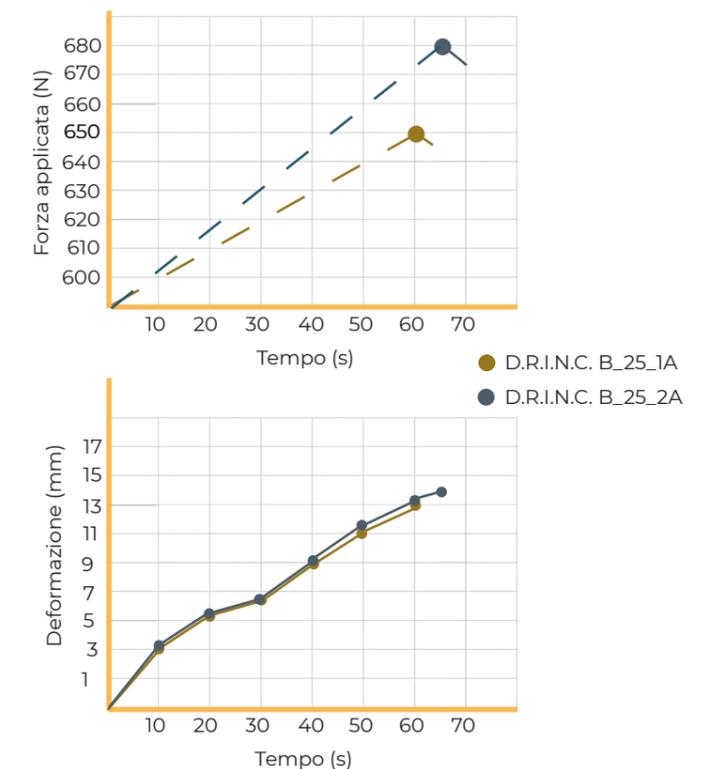
D.R.I.N.C. B_27 = 0.50 N/mm² .

I valori di resistenza a compressione ottenuti, classificano le due malte in categoria CS I (TABELLA_14); categoria che rientra nei parametri da rispettare per definire un intonaco termico.

D.R.I.N.C. B_25_1A	
TEMPO (s)	DEFORMAZIONI (mm)
10	3.4
20	5.1
30	6.8
40	9.2
50	11.1
60	13.2

D.R.I.N.C. B_25_2A	
TEMPO (s)	DEFORMAZIONI (mm)
10	3.2
20	5.2
30	6.4
40	9.3
50	11.8
60	13.3
65	14.2

TABELLA_13 Deformazioni in base al tempo per i monconi 1 e 2 del provino 25_A

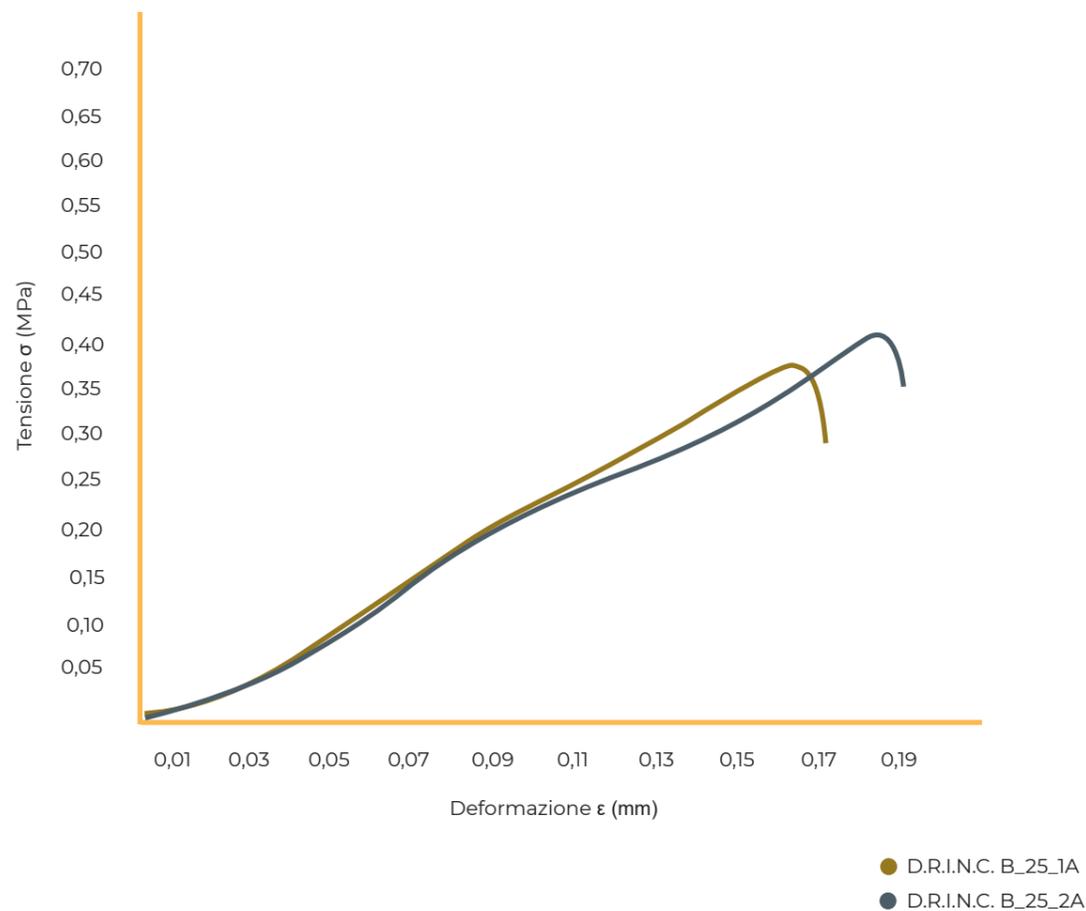


FIGURA_23 Diagrammi carico/tempo e abbassamento/tempo per i monconi 1 e 2 del provino 25_A

Sebbene i valori risultino accettabili da normativa, non si discostano dai limiti inferiori; ulteriori analisi sul mix design delle malte potrebbero far auspicare a valori più alti. Tuttavia sono state registrate resistenze a compressione maggiori per D.R.I.N.C. B_27, rispetto a D.R.I.N.C. B_25, da attribuire alla presenza di fibre, date da piccole percentuali di paglia di riso.

PROPRIETÀ	CATEGORIE	VALORI
Intervallo di resistenza a compressione a 28d	CSI	da 0,4 N/mm ² a 2,5 N/mm ²
	CSII	da 1,5 N/mm ² a 5,0 N/mm ²
	CSIII	da 3,5 N/mm ² a 7,5 N/mm ²
	CSIV	≥ 6 N/mm ²

TABELLA_14 Classificazione delle proprietà delle malte indurite.
Fonte: UNI EN 998:1-2010



FIGURA_24 Diagramma tensione/deformazione D.R.I.N.C. B_25_1A

La UNI EN 1015-18:2004 “Metodi di prova per malte per opere murarie. Parte 18: **Determinazione del coefficiente di assorbimento d’acqua per capillarità della malta indurita**” specifica il metodo per determinare il coefficiente (C) che indica la tendenza della malta ad assorbire acqua per capillarità.

L’assorbimento d’acqua si esprime come la quantità che attraversa la superficie di contatto dell’intonaco nell’unità di tempo. La misura è stata eseguita su tre provini per le due malte in esame, di dimensione 160mmx40mmx40mm.

Dopo una stagionatura di 60gg, i provini sono stati sigillati ricoprendo le quattro facce lunghe con silicone; successivamente, sono stati tagliati in due metà grazie a una sega circolare, a formare sei mezzi prismi di dimensione 80mmx40mmx40mm. Dopo la rottura, i provini sono stati ripuliti dalle polveri e lasciati indurire con il sigillante.

I sei prismi sono stati posti in una bacinella con le facce spezzate verso il basso, e distanziati dal fondo tramite supporti metallici dallo spessore di 3 mm. Il recipiente è stato riempito con acqua distillata fino a raggiungere i 10 mm, garantendo l’immersione dei provini a 7 mm (FIGURA_26). L’immersione del provino è avvenuta ad asse inclinato per evitare l’intrappolamento di bolle d’aria nella malta, che avrebbero portato all’annullamento della prova.

Il livello dell’acqua è stato mantenuto



FIGURA_26 immersione dei sei monconi

costante per tutta la prova. La bacinella è stata coperta per tutta la durata della prova, al fine di evitare l’evaporazione dell’acqua assorbita dai provini.

I sei mezzi prismi sono stati pesati dopo dieci minuti di immersione, registrando la massa M_1 , ricollocati nella bacinella, e ripesati dopo novanta minuti, ottenendo la massa M_2 .

Il coefficiente di assorbimento (C) rappresenta la pendenza della retta che unisce i punti delle misurazioni in un grafico tempo/massa.

La norma stabilisce che il coefficiente deve essere calcolato utilizzando la seguente formula:

$$C = 0,1 (M_2 - M_1) \text{ kg}/(\text{m}^2\text{min}^{0,5})$$

Di seguito viene riportato il calcolo per il coefficiente di assorbimento del primo mezzo provino di D.R.I.N.C. B_25:

$$C_{D,B_25_1A} = 0,1 (96,3-94)g = \\ = 0.23 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{min}^{0,5})$$

Nella Tabella 15 sono state riportate le masse e i coefficienti di assorbimento dei dodici mezzi prismi delle malte in esame. I coefficienti di assorbimento dei singoli prismi sono stati approssimati a 0,05 kg/(m²min^{0,5}).

Il coefficiente di assorbimento d'acqua delle malte è stato calcolato come valore medio tra i coefficienti dei sei prismi, e risulta:

$$C_m \text{ D.R.I.N.C. B}_{25} = 0,25 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{min}^{0,5})$$

$$C_m \text{ D.R.I.N.C. B}_{27} = 0,36 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{min}^{0,5})$$

Questi valori fanno rientrare la malta in categoria W_{c1} (TABELLA_16); categoria che rientra nei parametri da rispettare per definire un intonaco termico.

Sebbene le due malte rientrino in

categoria, non hanno un coefficiente di assorbimento d'acqua basso. Questo a causa del comportamento igroscopico delle trebbie di birra; la differenza di kg/(m²min^{0,5}) tra le due malte è giustificata dalla presenza di paglia di riso, altro materiale igroscopico, nella miscela D.R.I.N.C. B₂₇.

PROPRIETÀ	CATEGORIE	VALORI
Assorbimento d'acqua per capillarità	W _{c0}	Non specificato
	W _{c1}	C ≤ 0.40 kg/(m ² xmin ^{0,5})
	W _{c2}	C ≤ 0.20 kg/(m ² xmin ^{0,5})

TABELLA_16 Classificazione delle proprietà delle malte indurite.
Fonte: UNI EN 998:1-2010

PROVINO	M ₁ (g)	M ₂ (g)	C kg/(m ² min ^{0,5})
D.B._25_1A	94	96,3	0.23
D.B._25_1B	92,8	95,2	0.24
D.B._25_2A	95,2	97,5	0.23
D.B._25_2B	95,4	97,9	0.25
D.B._25_3A	98,2	101	0.28
D.B._25_3B	94,3	97,2	0.29
D.B._27_1A	93,8	97,3	0.35
D.B._27_1B	94,9	98,5	0.36
D.B._27_2A	94,5	97,6	0.31
D.B._27_2B	98,1	101	0.29
D.B._27_3A	88,5	92,6	0.41
D.B._27_3B	90,1	94,3	0.42

MALTA	C _m
D.R.I.N.C. B ₂₅	0.25 kg/(m ² min ^{0,5})
D.R.I.N.C. B ₂₇	0.36 kg/(m ² min ^{0,5})

TABELLA_15 Coefficienti di assorbimento e masse per i provini D.R.I.N.C. B₂₅ e D.R.I.N.C. B₂₇

La UNI EN 1015-19:2008 “Metodi di prova per le malte per opere murarie. Parte 19- **Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua delle malte da intonaco indurite**” specifica un metodo per determinare la permeabilità al vapore d'acqua in condizioni di flusso stazionario per condizioni di umidità fissa e costante.

La permeabilità al vapore acqueo di un materiale è importante nel bilancio termoigrometrico degli ambienti interni di un edificio; esso rappresenta la capacità di consentire il passaggio dell'umidità presente negli ambienti interni e nello spessore della muratura verso l'esterno.

In data 19/05/2021 sono stati realizzati due provini circolari per ogni malta, di diametro 160 mm. Si specifica che le modalità di confezionamento e di maturazione sono le medesime utilizzate per i provini rettangolari, secondo le disposizioni vigenti (FIGURA_27 e FIGURA_28).

Lo spessore di ogni dischetto di malta è stato misurato in tre punti; il valore medio delle misurazioni costituisce lo spessore del provino (TABELLA_17).

PROVINO	MISURA 1 (mm)	MISURA 2 (mm)	MISURA 3 (mm)	SPESSORE (mm)
D.B._25_1	23	20	22	21,7
D.B._25_2	21	20	18	19,7
D.B._27_1	20	22	20	20,7
D.B._27_2	18	20	17	18,3

TABELLA_17 Spessore dei provini circolari

L'attrezzatura per effettuare la prova è stata realizzata in base alle indicazioni dettate dalla norma (FIGURA_29).

I provini sono stati posizionati nei contenitori di prova e ne sono stati sigillati i bordi con silicone. Questo meccanismo è stato posto, con funzione di tappo, sopra un recipiente in plastica, e sigillato lungo il perimetro circonferenziale di quest'ultimo (FIGURA_30).

Il recipiente è stato riempito con una soluzione satura di nitrato di potassio (KNO₃) che garantisce un'umidità relativa interna di 93,2%; precisamente, 400 ml di acqua sono stati miscelati con 2,3 g di nitrato di potassio. Tra la soluzione e il dischetto di malta è stata lasciata un'intercapedine di 10 mm.

Il sistema è stato posto nella sala di laboratorio; durante l'esecuzione della prova è stata registrata una temperatura di 25 °C e umidità relativa del 53%.

Successivamente, è stata misurata la variazione di peso del sistema recipiente-soluzione-dischetto dopo 10 minuti e poi a intervalli di 20 minuti. La perdita di peso è stata garantita dall'evaporazione dell'acqua attraverso la superficie di D.R.I.N.C. Beer.

I valori della massa in funzione del tempo sono stati riportati in un diagramma; in questo modo è stato possibile determinare la condizione di stazionarietà del provino, che graficamente si verifica quando tre punti consecutivi si dispongono su una linea retta. Da tale

correlazione è stato possibile determinare il flusso di vapore acqueo $\Delta G/\Delta t$ (kg/s). Successivamente, è stata determinata la permeanza al vapore acqueo Λ (kg/m²sPa) con la formula:

$$\Lambda = 1/[A \Delta_p / (\Delta G / \Delta t) - R_A]$$

In cui:

A è l'area di apertura del recipiente di prova (m²);

Δ_p è la differenza della tensione di vapore acqueo (Pa);

R_A è la resistenza alla diffusione del vapore acqueo dell'intercapedine.

Si precisa che per tutte le applicazioni sono stati utilizzati i valori:

A = 0,02 m²;

Δ_p = 1010 Pa;

R_A = 0,048 * 10⁹ Pa m² s /kg.

Successivamente la permeabilità al vapore acqueo W_{vp} (kg/msPa) è stata calcolata con la seguente formula:

$$W_{vp} = \Lambda * t$$

dove t (m) è lo spessore medio del dischetto.

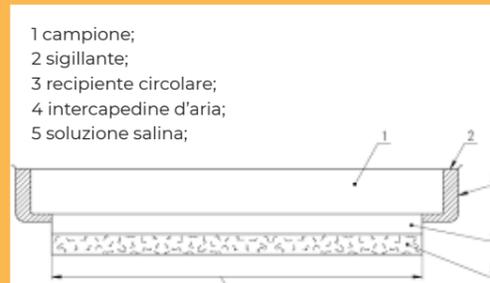
La UNI EN 998-1:201 specifica il passaggio tra W_{vp} al coefficiente di permeabilità al vapore acqueo μ . Questo è un coefficiente adimensionale che indica se un intonaco è favorevole al passaggio di umidità, e quindi evita il ristagno d'acqua o lo blocca, come una barriera al vapore. Il calcolo di μ da W_{vp} è dato dalla formula:



FIGURA_27 Provino circolare D.R.I.N.C. B_25



FIGURA_28 Provino circolare D.R.I.N.C. B_27



FIGURA_29 Disposizione sull'attrezzatura della prova
Fonte: UNI EN 1015:19



FIGURA_30 Provino circolare sottoposto a prova

$$\mu = 1,94E-10 / W_{vp}$$

A titolo esemplificativo, viene riportato il calcolo della permeabilità al vapore acqueo del provino circolare D.B_25_1.

A partire dalla Tabella 18, in cui si leggono le variazioni di massa in funzione del tempo, è stato elaborato il diagramma massa/tempo (FIGURA_31).

Dalla lettura del grafico si nota che l'allineamento della massa è partito dopo i primi 30 minuti; per questo sono stati esclusi dal calcolo i parametri del transitorio iniziale. I valori rientranti in formula sono stati riassunti nella Tabella 19.

È stato calcolato il coefficiente di vapore acqueo del disco utilizzando le formule sopra riportate:

$$\Lambda = 1 / [0,02 * 1010 / (0,0004/16800) - 0,048 * 10^9] = 1,25E-9 \text{ kg/m}^2\text{sPa}$$

$$W_{vp} = 1,25E-9 * 0,0217 = 2,71E-11 \text{ kg/msPa}$$

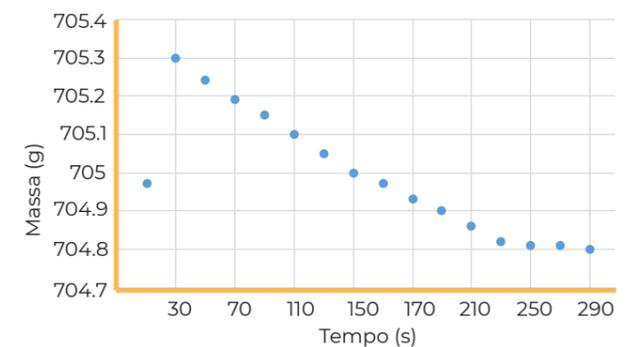
$$\mu = 1,94E-10 / 2,71E-11 = 7,16$$

Nelle Tabella 20 sono evidenziati i dati elaborati a conclusione della prova; mentre la Tabella_21 riporta i valori utilizzati per determinare il coefficiente di vapore acqueo di tutti i provini.

Il coefficiente relativo alle singole malte

D.B_25_1		
TEMPO (min)	TEMPO (s)	Massa (g)
10	600	704.97
30	1800	705.3
50	3000	705.24
70	4200	705.19
90	5400	705.15
110	6600	705.10
130	7800	705.05
150	9000	705.01
170	10200	704.99
190	11400	704.97
210	12600	704.95
230	13800	704.93
250	15000	704.92
270	16200	704.91
290	17400	704.91
310	18600	704.90

TABELLA_18 Variazione della massa in funzione del tempo del provino D.R.I.N.C. B_25_1



FIGURA_31 Diagramma massa/tempo provino D.R.I.N.C. B_25_1

D.B_25_1	
PARAMETRO	VALORE
ΔG	0,0004 kg
Δt	16800 s
A	0,02 m ²
Δ_p	1010 Pa
R_A	0,048 * 10 ⁹ Pa m ² s /kg

TABELLA_19 Valori assunti per D.R.I.N.C. B_25_1

è stato determinato come valore medio tra i due coefficienti relativi ai provini.

Essi risultano essere:

μ D.R.I.N.C. B_25 = 7.00

μ D.R.I.N.C. B_27 = 6.30

Entrambe le malte hanno coefficienti che rientrano, ai sensi di normativa, nel valore massimo determinato per i termointonaci ≤ 15 .

		D.B._25_2	D.B._27_1	D.B._27_2
TEMPO (min)	TEMPO (s)	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)
10	600	723.32	724.81	714.96
30	1800	723.40	725.2	714.92
50	3000	723.35	725	714.89
70	4200	723.30	724.95	714.86
90	5400	723.24	724.93	714.83
110	6600	723.18	724.91	714.81
130	7800	723.15	724.89	714.78
150	9000	723.12	724.86	714.74
170	10200	723.09	724.82	714.69
190	11400	723.04	724.79	714.67
210	12600	723.07	724.76	714.64
230	13800	723.03	724.73	714.61
250	15000	723.01	724.70	714.58
270	16200	722.97	724.67	714.58
290	17400	722.95	724.67	714.57
310	18600	722.95	724.66	714.57

TABELLA_20 Variazione della massa in funzione del tempo dei provini D.R.I.N.C. B_25_2, D.R.I.N.C.B_27_1 e D.R.I.N.C. B_27_2

D.B._25_2		D.B._27_1		D.B._27_2	
PARAMETRO	VALORE	PARAMETRO	VALORE	PARAMETRO	VALORE
ΔG	0,00045 kg	ΔG	0,00054 kg	ΔG	0,00039 kg
Δt	16800 s	Δt	16800 s	Δt	16800 s
A	0.02 m ²	A	0.02 m ²	A	0.02 m ²
Δ_p	1010 Pa	Δ_p	1010 Pa	Δ_p	1010 Pa
R_A	0,048 * 10 ⁹ Pa m ² s /kg	R_A	0,048 * 10 ⁹ Pa m ² s /kg	R_A	0,048 * 10 ⁹ Pa m ² s /kg
μ D.B_25_2 = 6.80		μ D.B_27_1 = 5.18		μ D.B_27_2 = 7.35	

MALTA	COEFFICIENTE μ
D.R.I.N.C. B_25	7
D.R.I.N.C. B_27	6.30

TABELLA_21 Coefficiente di permeabilità al vapore delle malte D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27

La UNI EN 998-1:2004 prevede, per le malte indurite, la determinazione della **conducibilità termica** seguendo la norma UNI EN 1745:2020 "Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare le proprietà termiche".

Per stabilire le proprietà termiche delle malte D.R.I.N.C. Beer sono state realizzate, in data 23/03/2021, due losanghe con dimensioni 50cmx50cmx7cm e volume di 0,0175 m³.

Per il confezionamento delle losanghe sono stati miscelati 10,27 kg di polvere con 10,40 kg di acqua; la Tabella 22 schematizza i kilogrammi degli ingredienti rispetto ai 10,27 kg totali impiegati per le losanghe di prova.

I componenti secchi sono stati inseriti in una betoniera e miscelati con l'ausilio di un'elica per trapano, per circa 60 s; successivamente sono stati incorporati i kilogrammi di acqua e miscelati per

circa 240 s, fino a ottenere un impasto omogeneo.

La miscela è stata spalmata in un cassero in polistirene, precedentemente ricoperto con grasso per facilitarne lo scassero (FIGURA_32 e FIGURA_33).

Le due losanghe sono state scasserate dopo quindici giorni e lasciate stagionare a temperatura e umidità ambiente per settanta giorni prima di essere sottoposte alla prova (FIGURA_34 e FIGURA_35).

Per prima cosa, le due losanghe sono state essiccate in forno per 24 h a 60°C per trascurare l'incidenza dell'acqua sul calcolo delle caratteristiche termofisiche. Sebbene la norma preveda di essiccare i campioni a temperature maggiori (105-110 °C), la natura delle trebbie di birra ha imposto temperature inferiori, al fine di evitare la combustione dell'aggregato stesso (FIGURA_36).

L'obiettivo della prova è la definizione della **conducibilità termica (λ)** dell'intonaco termico, che indica la potenza termica scambiata per unità di spessore e per unità di salto termico (W/mK).

L'analisi, condotta presso il DENERG, è stata realizzata con l'uso del flussometro di calore LaserComp Fox 600 (FIGURA_37), ovvero un misuratore di calore a flusso di gas di protezione a campione singolo. Lo strumento basa il metodo di misura sul postulato di Fourier, determinando la potenza termica (W) scambiata, in condizioni stazionarie,

LOSANGA D.R.I.N.C. B_25	
INGREDIENTI	kg
Cemento Prompt	7,43
Peralit 13	1,26
Trebbie di birra (0-3.0mm)	1,58

LOSANGA D.R.I.N.C. B_27	
INGREDIENTI	kg
Cemento Prompt	7,43
Peralit 13	1,15
Trebbie di birra (0-3.0mm)	1,58
Paglia di riso (5mm)	0,14

TABELLA_22 Componenti in kg rispetto al totale per le due miscele D.R.I.N.C. Beer

nella losanga. Il sistema consente il posizionamento del provino tra due piastre poste a diverse temperature, dotate di termoflussimetri.

La piastra inferiore è stata posta a $T = 5^{\circ}\text{C}$ mentre quella superiore a $T = 15^{\circ}\text{C}$, è stata quindi calcolata la conducibilità termica a una $T = 10^{\circ}\text{C}$.

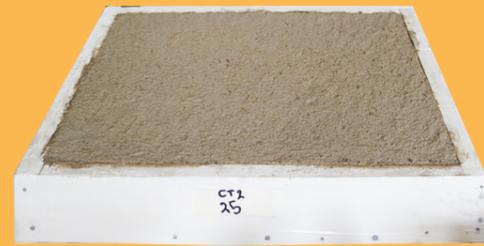
Per evitare dispersioni di calore, le losanghe sono state rivestite con materiale plastico (FIGURA_38).

Infine, per migliorare il contatto termico tra le piastre e il campione, e per evitare l'insorgere di resistenze di contatto su provini non perfettamente complanari, sono stati inseriti, sulla superficie superiore e inferiore della losanga, due strati di gomma comprimibile (FIGURA_39 e FIGURA_40) con spessore 0,02 cm. Ogni tappetino ha:

- Conducibilità termica $\lambda_t = 0,1356 \text{ W/mK}$
- Resistenza termica $R_t = 0,0149 \text{ m}^2\text{K/W}$

Al termine della prova, la macchina non restituisce direttamente la conducibilità termica, ma fornisce i dati relativi allo spessore e alla resistenza termica totale del campione, comprensivo dei due strati di gomma.

La misura dello spessore è ottenuta come media tra le misurazioni che la macchina



FIGURA_32 Losanga D.R.I.N.C. B_25



FIGURA_33 Losanga D.R.I.N.C. B_27



FIGURA_34 Losanga D.R.I.N.C. B_25 scasserata



FIGURA_35 Losanga D.R.I.N.C. B_27 scasserata

LOSANGA	Spessore (m)	Volume (m ³)	Peso (kg)
D.R.I.N.C. B_25	0,0749	0,019	10,300
D.R.I.N.C. B_27	0,0735	0,018	10,600

TABELLA_23 Proprietà delle losanghe di prova

rileva su quattro punti della losanga. A questo valore bisogna sottrarre lo spessore dei due tappetini (0,04 cm) per ottenere gli spessori effettivi delle losanghe, che risultano:

$$s_{D,B_25} = 0,07891 - 0,004 = 0,0749 \text{ m};$$

$$s_{D,B_27} = 0,07753 - 0,004 = 0,0735 \text{ m}.$$

La Tabella 23 sintetizza le caratteristiche fisiche delle losanghe di prova.

Le resistenze termiche totali risultano essere:

$$- R_{TOT_25} = 0,8839 \text{ m}^2\text{K/W};$$

$$- R_{TOT_27} = 0,8577 \text{ m}^2\text{K/W}.$$

Da questi valori è stata ricavata la resistenza termica delle due miscele tramite sottrazione della resistenza termica dei due tappetini:

$$R_{D,B_25} = 0,8839 - (0,0149*2) = 0,8541 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{D,B_27} = 0,8577 - (0,0149*2) = 0,8279 \text{ m}^2\text{K/W}$$

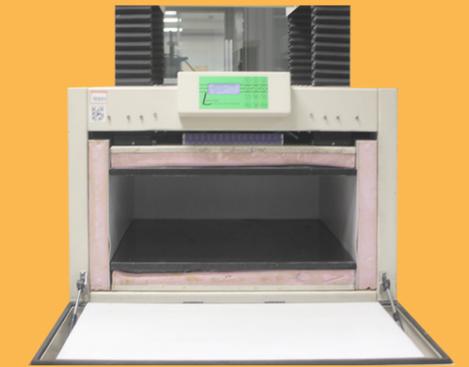
La resistenza termica (R) rappresenta la capacità della malta di opporsi al passaggio del flusso di calore; essa dipende dallo spessore del materiale (s) e dalla conducibilità termica (λ). Il valore λ è quindi stato calcolato dalla formula inversa della resistenza termica:

$$R = s/\lambda$$

$$\lambda = s/R$$



FIGURA_36 Essiccazione in forno della losanga D.R.I.N.C. B_27



FIGURA_37 Flussometro di calore LaserComp Fox 600



FIGURA_38 Losanga D.R.I.N.C. B_27 rivestita con materiale plastico



FIGURA_39 Posizione losanga D.R.I.N.C. B_27 e i due strati di gomma

È stata quindi calcolata la conducibilità termica per le malte D.R.I.N. Beer:

$$\lambda_{D.B.25} = 0,07487 / 0,8541 = 0,0876 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{D.B.27} = 0,07349 / 0,8279 = 0,0887 \text{ W/mK}$$

Inoltre dai dati di resistenza termica è stata calcolata la trasmittanza termica (U) della malta, come la quantità di calore che viene trasmessa attraverso D.R.I.N.C. Beer:

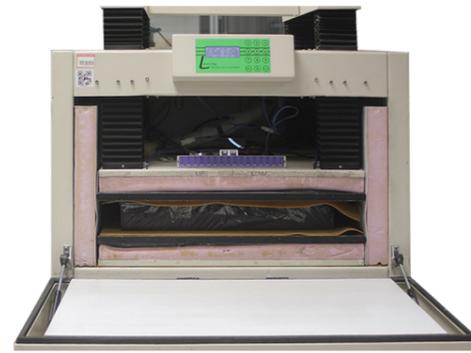
$$U = 1 / R$$

$$U_{D.B.25} = 1 / 0,8541 = 1,17 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{D.B.27} = 1 / 0,8279 = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La Tabella 24 riassume le proprietà termiche delle due losanghe D.R.I.N.C. Beer.

I valori della conducibilità termica riscontrati consentono di categorizzare le due malte come intonaco termico, in base alle specifiche della UNI EN 998-1 (TABELLA_25). Entrambe le malte D.R.I.N.C. Beer rientrano in categoria T 1 e quindi definite come “malte destinate ad essere utilizzate in elementi soggetti a requisiti termici”.



FIGURA_40 Posizionamento della losanga D.R.I.N.C. B_27 nella macchina

D.R.I.N.C. B_25	
PROPRIETÀ TERMICHE	VALORE
Resistenza termica	0,85 m²K/W
Conducibilità termica	0,088 W/mK
Trasmittanza termica	1,17 W/m²K

D.R.I.N.C. B_27	
PROPRIETÀ TERMICHE	VALORE
Resistenza termica	0,83 m²K/W
Conducibilità termica	0,089 W/mK
Trasmittanza termica	1,20 W/m²K

TABELLA_24 Proprietà termiche di D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27

PROPRIETÀ	CATEGORIA	VALORE
Conducibilità termica	T 1	< 0,1 W/mK
	T 2	< 0,2 W/mK

TABELLA_25 Classificazione delle proprietà delle malte indurite.

Fonte: UNI EN 998-1-2010

I dati inerenti le proprietà termiche sono stati utilizzati per proporre il calcolo della trasmittanza termica in una soluzione di chiusura opaca verticale non portante naturale, leggera ed eco-compatibile. In questo caso D.R.I.N.C. Beer_27 è stato abbinato con il blocco ECOFFI, sperimentato, nello stesso contesto in cui si inserisce questa ricerca, da D. Faruku e J. Andreotti [2020].

Il blocco in questione è composto da cemento Prompt, tutolo industrializzato (3.15-4.99 mm) e paglia, e ha dimensioni 20x20 cm. Esso è stato abbinato a uno

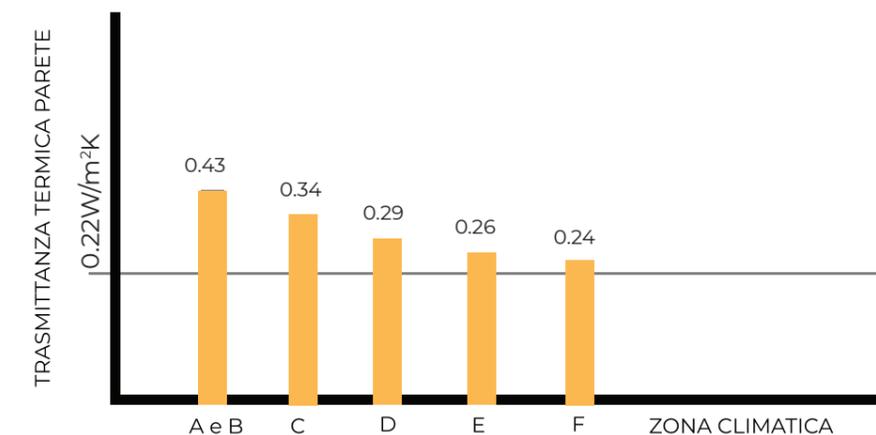
strato esterno di 10 cm del termintonaco sperimentato.

Lo spessore totale della parete risulta essere di 43 cm diviso in: 1.5 cm intonaco interno, 30 cm blocco ECOFFI, 10 cm strato D.R.I.N.C. Beer_27, 1.5 cm intonaco di finitura esterno.

Il valore della trasmittanza termica della parete (U), risulta essere di 0.22 W/m²K (TABELLA_26), valore inferiore rispetto ai limiti imposti per normativa, riguardante tutte le fasce climatiche italiane (FIGURA_41).

PROPRIETÀ TERMICHE DEI COMPONENTI	VALORI
Conducibilità termica ECOFFI	0.093 W/mK
Resistenza termica blocco ECOFFI 30x30cm	3.22 m²K/W
Conducibilità termica D.R.I.N.C. Beer_27	0.0887 W/mK
Resistenza termica strato 10cm D.R.I.N.C. Beer_27	1.13 m²K/W
Resistenza termica intonaco di finitura 1.5 cm	0.018 m²K/W
Resistenza termica parete	4.56 m²K/W
Trasmittanza termica parete	0.22 W/m²K

TABELLA_26 Proprietà termiche della parete avente la seguente stratigrafia: 1.5 cm intonaco interno, 30 cm blocco Ecoffi, 10 cm termintonaco D.R.I.N.C. Beer, 1.5 cm intonaco esterno



FIGURA_41 Trasmittanza termica della parete rispetto ai limiti di normativa per le diverse fasce climatiche italiane

Infine è stata testata la compatibilità del termointonaco con un supporto in muratura. Seguendo le disposizioni della UNI EN 1015-21:2004 (Metodi di prova per malte per opere murarie. Determinazione della compatibilità delle malte monostrato per esterni con il supporto) per quanto concerne i metodi di applicazione dell'intonaco su un "supporto debole" in muratura.

Gli impasti D.R.I.N.C. B_25 e D.R.I.N.C. B_27 sono stati preparati e applicati su un muretto composto da mattoni, contenenti percentuali di canapa, precedentemente bagnati in superficie per migliorarne l'adesione.

Sono stati realizzati dei casseri di 40cmx40cmx4cm, che hanno aiutato il confinamento dello strato di intonaco (FIGURA_42 e FIGURA_43).

Dopo la miscelazione, l'intonaco è stato applicato per strati: uno strato iniziale di circa 5 mm di prodotto a totale copertura dell'area, e poi uno strato successivo fino al riempimento del cassero. L'intonaco è stato livellato fino a ottenere una superficie omogenea.

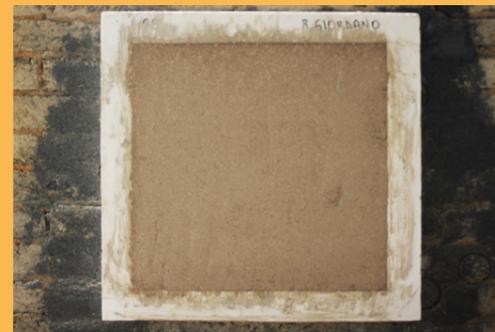
Il quadrato di confinamento è stato rimosso dopo due settimane; e è stata monitorata l'asciugatura della malta per i successivi 60 giorni (FIGURA_44 e FIGURA_45).

Lo strato di D.R.I.N.C. Beer ha risposto positivamente alla prova, non presentando, al termine del monitoraggio, fessurazioni o cedimenti.

Si precisa, tuttavia, che è stata riscontrata una difficoltà di messa in opera verticale dovuta all'impasto troppo liquido; questo problema è stato ovviato aspettando cinque minuti dalla fine della miscelazione all'applicazione su supporto verticale, ma si risolverebbe con un minor apporto di acqua.



FIGURA_42 Strato D.R.I.N.C. B_25



FIGURA_43 Strato D.R.I.N.C. B_27



FIGURA_44 Strato D.R.I.N.C. B_25 scasserato

FIGURA_45 Strato D.R.I.N.C. B_27 scasserato

4.3 CONSIDERAZIONI FINALI

I valori e le classi ottenuti nelle verifiche prestazionali rientrano nei requisiti specificati per le malte indurite ad alte prestazioni termiche specificati nella UNI EN 998-1:2010 (TABELLA_27).

Per maggiore chiarezza, i valori sono stati confrontati con quelli dichiarati per le malte THERMOCALCE [1] e THERMOINTONACO [2] di Vimark.

THERMOCALCE è composto da calce idraulica naturale NHL 2, perlite, fibre di carta e da additivi specifici che ne migliorano le prestazioni e la lavorabilità; THERMOINTONACO, invece, da speciali leganti idraulici, polistirene espanso e da additivi specifici.

Dalla comparazione delle prestazioni è emerso che il comportamento

di D.R.I.N.C. Beer sia più vicino alle prestazioni del prodotto a base calce di Vimark, questo è dovuto alle percentuali, presente in entrambi, di perlite. Inoltre il cemento Prompt ha prestazioni che si avvicinano a quelle della calce idraulica (TABELLA_28).

I dati più rilevanti, tra THERMOCALCE e le due miscele D.R.I.N.C. Beer, riguardano: l'abbassamento dei valori della massa volumica apparente e il miglioramento delle prestazioni termiche; peggiora invece la resistenza meccanica a compressione e a flessione. Quest'ultimo parametro è probabilmente da attribuire a un alto rapporto acqua/cemento che ha indebolito la resistenza meccanica intrinseca nel cemento Prompt. Un'ulteriore sperimentazione sui mix-design, includendo un rapporto a/c minore, presumibilmente portato da 1:4 a 1:2, migliorerebbe questi parametri senza compromettere la lavorabilità degli impasti.

Tra le due miscele D.R.I.N.C. Beer non ci

PARAMETRO DI PROVA	T	D.R.I.N.C. B_25	D.R.I.N.C. B_27
Massa volumica apparente allo stato secco (kg/m ³)	Valore dichiarato	551	558
Resistenza a compressione	Da CS I a CS II	CS I	CS I
Assorbimento d'acqua per capillarità	W _c 1	W _c 1	W _c 1
Coefficiente di permeabilità al vapore acqueo	≤ 15	= 7	= 6
Valore di conducibilità termica	T 1 ≤ 0,10 T 2 ≤ 0,20	T 1	T 1

TABELLA_27 Rispetto dei requisiti specificati in normativa UNI EN998-1:2010 per le malte indurite ad alte prestazioni termiche

PARAMETRO DI PROVA	THERMOCALCE	THERMOINTONACO	D.R.I.N.C. B_25	D.R.I.N.C. B_27
Consistenza malta fresca (mm)	-	-	130	130
Massa volumica apparente della malta fresca, ρ (kg/m ³)	745	445	1030	1150
Contenuto d'aria della malta fresca (%)	25	11	23	28
Tempo di lavorabilità (min)	>90	>90	>90	>90
Massa volumica apparente della malta indurita, ρ (kg/m ³)	570	300	551	558
Resistenza a flessione, f (N/mm ²)	0,5	0,5	0,08	0,09
Resistenza a compressione, R_c (N/mm ²)	0,9	1	0,4	0,5
Coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità, C [kg/(m ² min ^{0,5})]	≤ 0,40	≤ 0,40	= 0,25	= 0,36
Coefficiente di permeabilità al vapore d'acqua, μ	5/20	9	7	6
Conducibilità termica, λ (W/mK)	0,148	0,062	0,088	0,089

TABELLA_28 Comparazione dei requisiti delle malte D.R.I.N.C. Beer con THERMOCALCE e THERMOINTONACO

sono sostanziali differenze; le prestazioni seguono gli stessi range di valori; ciò probabilmente è dovuto alla troppo bassa percentuale in peso di paglia di riso. Come previsto, la conducibilità termica è migliorata nelle miscele contenenti trebbie di birra (paragrafo 3.3). Si può affermare che le trebbie di birra utilizzate come MPS nei materiali da costruzione, ne migliorano le proprietà coibentanti.

Per le caratteristiche fisiche

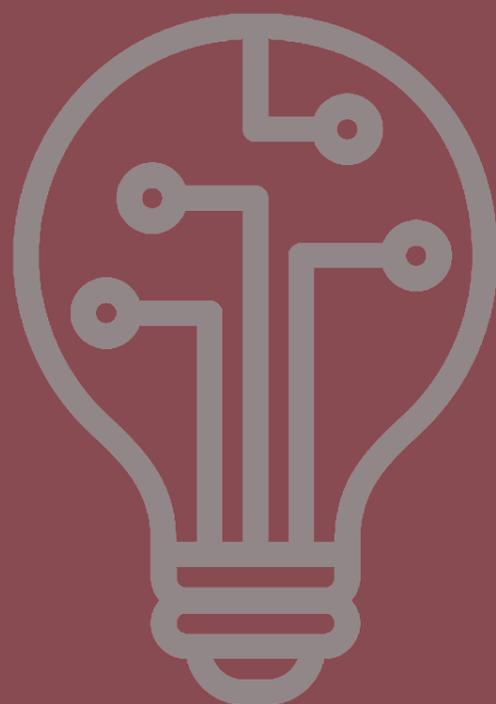
dell'aggregato, e quindi la presenza di pori nella cariosside, non si esclude anche un miglioramento in termini di prestazioni acustiche.

Si precisa che per la granulometria calibrata presente di aggregato vegetale (da 0.075 mm a 3 mm) D.R.I.N.C. Beer non può essere utilizzato come intonaco di finitura.

NOTE

[1] B. D'Agata, 2016.

[2] https://www.vimark.com/wp-content/uploads/2016/02/THERMOINTONACO_0116_ITA.pdf



LE PROSPETTIVE DI SVILUPPO DI UNA FILIERA CIRCOLARE

In questo capitolo viene esaminata l'attuale filiera delle trebbie di birra, partendo dall'uscita dal processo di filtraggio sino allo smaltimento.

Una successiva valorizzazione del sottoprodotto nel settore edile porta in luce lo sviluppo di un sistema della catena di approvvigionamento per una nuova filiera circolare, e una stima economica del mercato.

Il processo di analisi è stato condotto su una singola regione: la Campania, un contesto locale socio-economico che registra una costante crescita brassicola dal 2007 a oggi. Si precisa che la progettazione della nuova filiera, per le quantità di trebbie di birra presenti sul territorio nazionale, è replicabile in più contesti.

5

5.1 LA CRESCITA DEI BIRRIFICI IN CAMPANIA

Gli sforzi fatti per integrare le trebbie di birra come materia prima seconda utilizzabile in nuovi cicli di produzione, come D.R.I.N.C. Beer, hanno portato allo studio di fattibilità per la realizzazione di un nuovo scenario di filiera (FIGURA_1). Per poter capire se la disponibilità di trebbie di birra in Campania potrebbe garantire l'approvvigionamento della nuova prospettiva di sviluppo sono stati esaminati i birrifici presenti nel territorio. Il settore brassicolo campano presenta

numeri costantemente in crescita; nel 1982 a Sorrento nasce il primo microbirrificio italiano, ma è solo agli inizi del ventunesimo secolo che il trend aumenta notevolmente (FIGURA_2).

La regione oggi non conta birrifici industriali ma sessantacinque birrifici artigianali, quarantasei Beer Firm e dieci Brew Pub [Microbirrifici, 2020], distribuiti uniformemente sul territorio (FIGURA_3). Dall'analisi sono state escluse le Beer-Firm poiché le trebbie di birra prodotte rientrano nel bilancio del birrificio di riferimento.

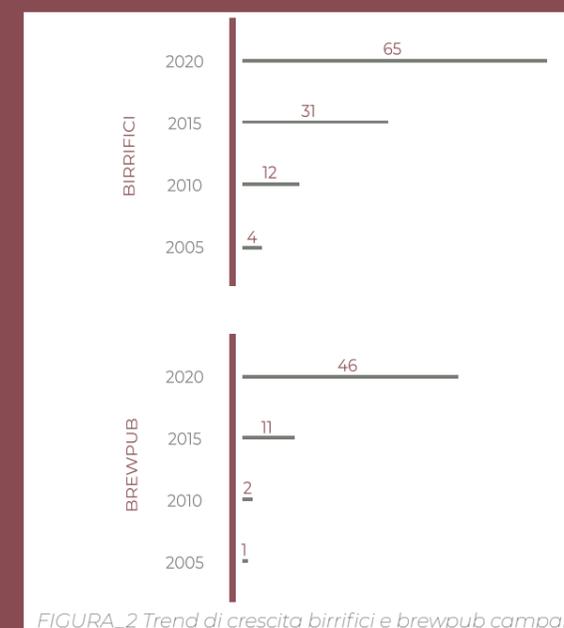
La forte crescita, soprattutto nell'ultimo quinquennio, testimonia una realtà imprenditoriale che si sta affermando nel complesso mercato nazionale ed europeo. Un campano su due, sopra gli

11 anni, consuma birra almeno una volta al giorno [1]. Questa crescita ha spinto la regione Campania a emanare una legge a sostegno delle birre artigianali campane che privilegiano la filiera corta. La Legge Regionale 24 giugno 2020, n.16 "Misure a sostegno della agricoltura di qualità e del patrimonio agro-alimentare nel settore della produzione di birra agricola e artigianale" [2], intende promuovere la produzione di birra campana e sostenere lo sviluppo della coltivazione delle materie prime impiegate per la produzione. In particolare punta alla valorizzazione degli elementi di tipicità e all'incentivazione per l'implementazione di processi innovativi nelle lavorazioni dei prodotti, favorendo la ricerca e il miglioramento delle condizioni

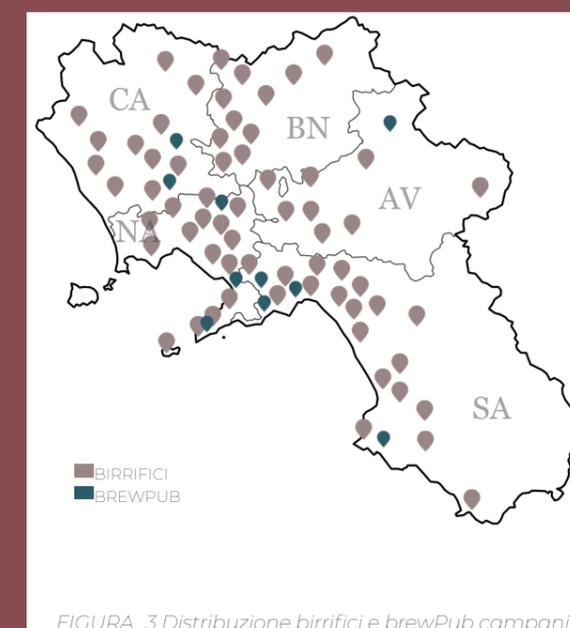
di produzione. L'obiettivo è quello di agevolare la crescita di birrifici artigianali campani creando lo sviluppo competitivo delle imprese della filiera, con particolare riguardo alla filiera corta. A sostegno di questa iniziativa nasce l'A.BI. Campania, Associazione Birra Campania, nata con il proposito di rafforzare la filiera della birra locale, unendo i birrifici campani. Il trasformare, da parte delle istituzioni, i progetti delle associazioni di categoria in concrete azioni di valorizzazione della produzione, il timido affermarsi da parte dei birrifici campani sul palco del mercato straniero, la nascita di un'identità sempre più oggettiva della birra campana, pongono le basi per poter prevedere un'ulteriore crescita nei prossimi anni delle realtà brassicole in questo territorio.



FIGURA_1 Nuovo scenario di filiera



FIGURA_2 Trend di crescita birrifici e brewpub campani



FIGURA_3 Distribuzione birrifici e brewPub campani

NOTE
[1] www.ecampania.it
[2] Bollettino Ufficiale Regione Campania n. 133 del 25 giugno 2020

5.2 LA FILIERA BRASSICOLA IN CAMPANIA

Per poter reperire le informazioni necessarie, sono stati intervistati i birrifici e i Brew-Pub presenti sul territorio campano, da cui sono stati estrapolati i dati relativi:

- ai litri di birra prodotti in un anno, in modo da identificare l'effettiva quantità di trebbie di birra presenti sul territorio;
- alla disponibilità mensile, in relazione al cambio stagionale, di questo sottoprodotto;
- ai canali di smaltimento attualmente utilizzati e i relativi costi;
- alla verifica dell'interesse nel recupero diversificato delle trebbie di birra da parte dei birrifici.

Non fanno parte dell'analisi le BeerFirm, "figure che producono le proprie birre presso terzi" [3], poiché, da contratto, le trebbie di birra vengono smaltite dalla struttura di produzione, rientrando così, anche i litri di birra prodotti, nel bilancio del birrificio con impianto.

I dati estrapolati fanno riferimento alle interviste che sono state sottoposte a un numero campione di dieci birrifici.

È emerso che il 60% ha una produzione annua inferiore ai 500 hl/annui, solo un

birrificio su dieci produce 2000 hl/annui (FIGURA_4).

Per i birrifici in esame la produzione totale di birra annua risulta essere di 5200 hl. Facendo una media tra questo dato e i 121 produttori di birra campani (paragrafo 5.1) si stima la quantità di birra annua sul territorio pari a 63.000 hl. Considerando che ogni 100 l (1 hl) di birra vengono prodotti 20 kg di trebbie umide (paragrafo 1.4), si calcola la quantità di sottoprodotto pari a 1.260.000 kg, utilizzando la formula:

$$\text{kg Trebbie umide} = \text{hl prodotti} \times 20 \text{ kg}$$

Dalle prove di essiccazione del sottoprodotto, eseguite al LASTIN (paragrafo 3.3), è emerso che le trebbie di birra umide, umidità pari all'80%, sottoposte a una temperatura di 75°C° per 20 h raggiungono un'umidità del 18%, subendo un decremento in peso di circa il 72%. Applicando il decremento alla quantità di trebbie di birra umide stimate uscenti dai birrifici campani (1.260.000kg) possiamo valutare la quantità di trebbie di birra secche utilizzabili pari a 352.800 kg/annui, utilizzando la formula:

$$\text{kg Trebbie secche} = \text{kg trebbie umide} - \left[\frac{\text{kg trebbie umide} \times 72}{100} \right]$$

Le aziende tendono a diversificare l'offerta creando più qualità di birra, tra

queste troviamo: le speciali, le stagionali e le occasionali. In media un birrificio produce dalle 4 alle 8 tipologie di birra ottenute dall'utilizzo di diversi orzi maltati, ciò non produce differenze nella composizione delle malte (paragrafo 3.3). Da questo ragionamento ne deriva che tutti i birrifici gestiscono almeno una cotta a settimana, rendendo il sottoprodotto non soggetto a stagionalità e disponibile tutto l'anno.

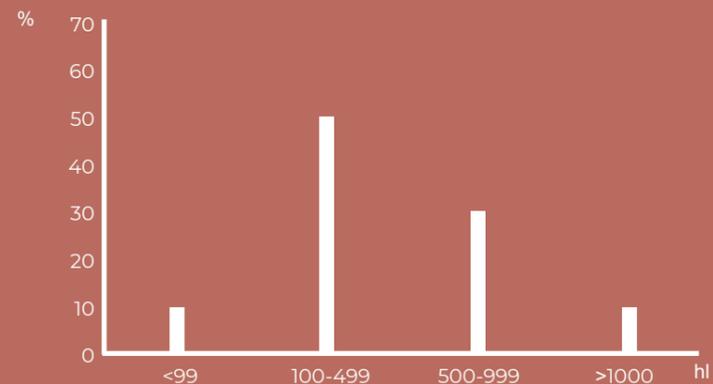
In otto casi su dieci le trebbie di birra umide vengono trasferite ad allevatori della zona e il ritiro non fornisce un introito per i birrifici; tutti si sono mostrati interessati alla proposta di un metodo diverso per lo smaltimento. In due casi, invece, il sottoprodotto viene smaltito come rifiuto speciale. Questo succede se la quantità prodotta è troppo piccola per i grandi allevamenti e troppo grande per i piccoli, o se il birrificio si trova nei pressi del centro dei capoluoghi di provincia e quindi distante dagli allevamenti, evidenziando difficoltà per il trasporto (FIGURA_5). La rapida marcescenza di questo sottoprodotto, caratterizzata dalla presenza di insetti e un odore acre, obbliga i birrifici a disfarsene in massimo 48h-

In nessuna delle aziende è previsto un luogo per lo stoccaggio né forni adatti all'essiccazione. Le trebbie di birra vengono divise in sacchi di polipropilene e regalate alle aziende zootecniche in sette casi su otto, ignorando le potenzialità

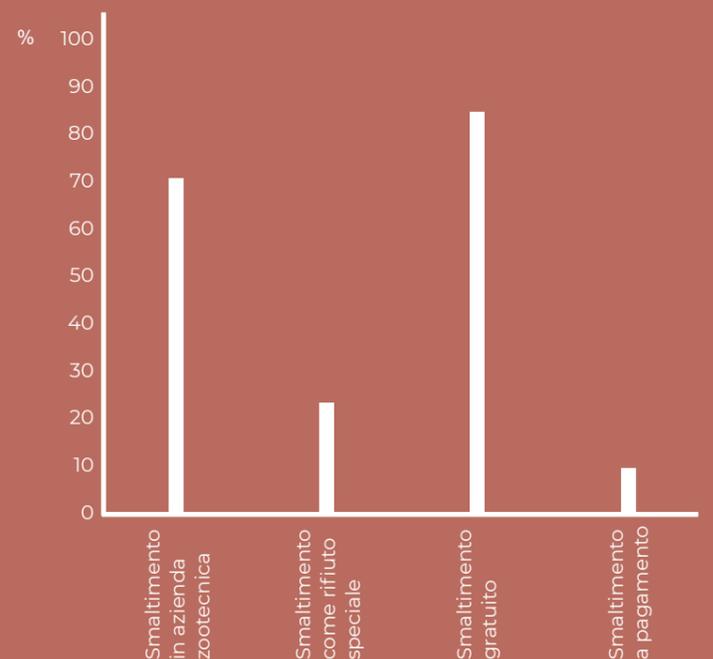
di questo sottoprodotto. In un solo caso il sottoprodotto rappresenta un introito per il birrificio; il valore di mercato è di 3/5 € ogni 100kg, molto basso se si considera il costo della materia prima che va dai da 100€ a 200€/t. Inoltre, quando la produzione supera la domanda delle aziende zootecniche, lo smaltimento grava sui birrifici, costretti a smaltirli come rifiuti biogeni, e obbligati al pagamento per il trasporto che ammonta a circa 15€/tonnellata ogni 8 km (FIGURA_6).

Anche se l'analisi effettuata riguarda la Campania, dobbiamo ricordare che si stima, in Italia, una produzione di trebbie di 188 mila tonnellate/anno delle quali solo il 30% viene riutilizzato per lo più nell'industria zootecnica (paragrafo 2.1). Le trebbie di birra, una volta essiccate, possono essere riutilizzate come aggiunta negli impasti da forno, come snack salati, in ambito farmaceutico o nella produzione di pellet e biogas (capitolo 2).

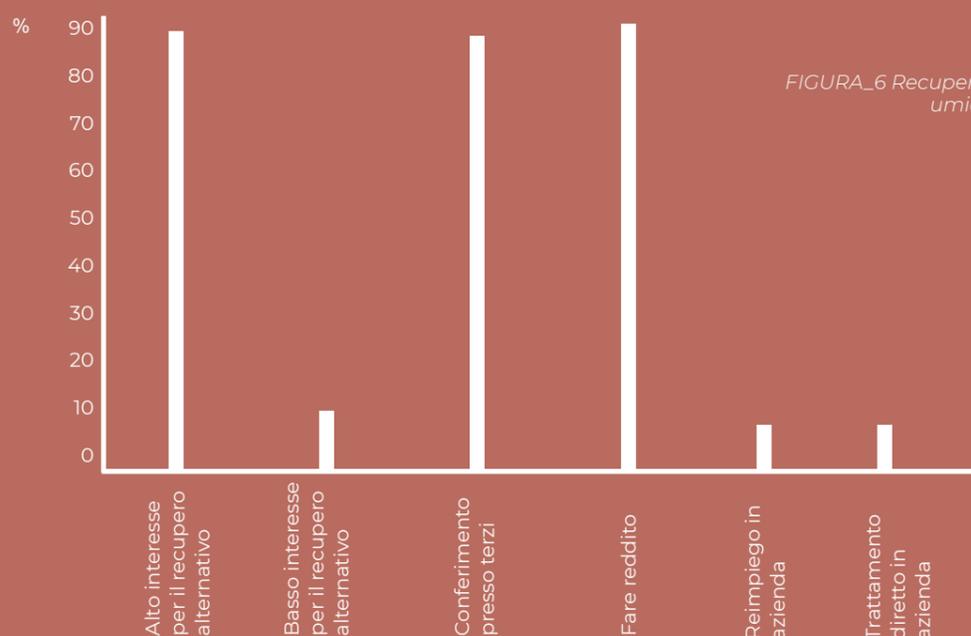
Dall'analisi è emersa la difficoltà, da parte dei birrifici, nel reperire luoghi per lo stoccaggio di questo sottoprodotto e la mancanza di informazioni sulle potenzialità economiche che potrebbero derivare dallo stesso. La criticità principale riguarda soprattutto la possibilità di acquistare macchinari adatti all'essiccazione; in aggiunta, i processi richiedono una granulometria distinta non facile da acquisire in



FIGURA_4 Diagramma produzione di birra/birrifici



FIGURA_5 Gestione delle trebbie di birra

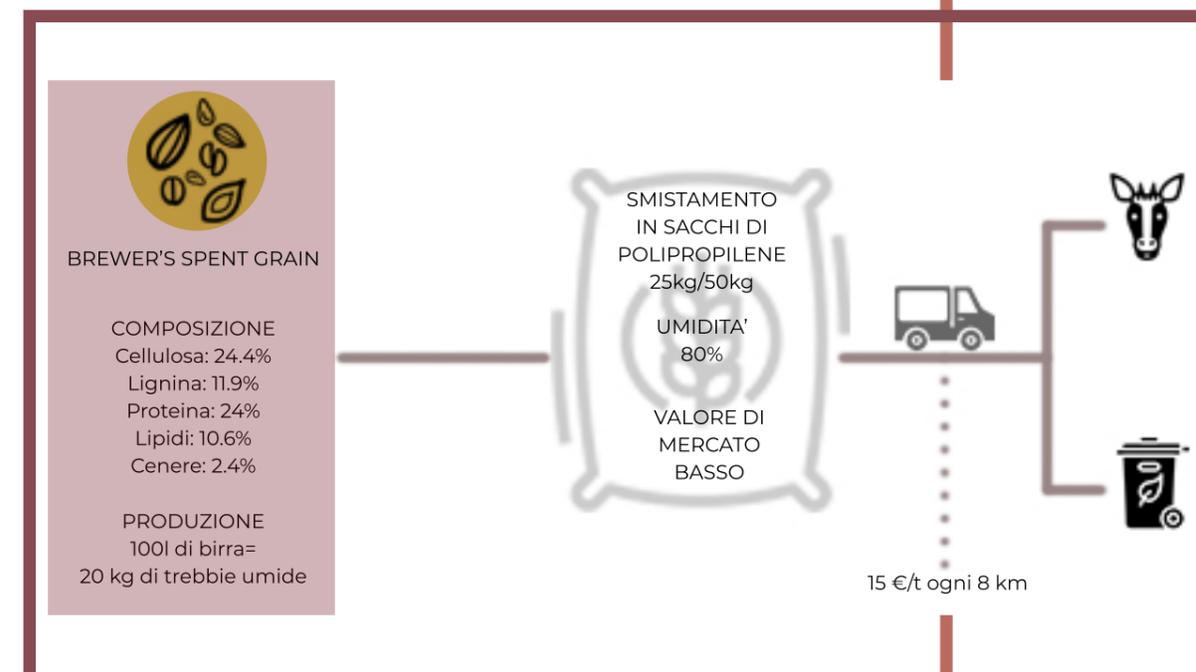


FIGURA_6 Recupero trebbie di birra umide

manca di specifiche attrezzature. Altra metodologia impiegata per evitare la marcescenza delle trebbie di birra è l'insilamento in minisilos, tecnica già utilizzata per la conservazione di foraggi freschi, sperimentata nell'ambito del progetto "Go Bioeconomia a km0" portato avanti dal Centro Ricerca Produzioni Animali dell'Emilia Romagna [4]. Il sottoprodotto è stato miscelato con polpe di bietola e disposto in trincea per aumentarne la conservabilità fino a 30 giorni; il problema però sorge per la predisposizione delle trincee, lo spazio occupato e il successivo trasporto. È

stato constatato che questa metodologia non è vantaggiosa per i birrifici, ciò ha portato l'ipotesi di una nuova filiera corta basata sull'essiccazione immediata del sottoprodotto.

La Figura 7 sintetizza la filiera attuale per lo smaltimento delle trebbie di birra dal momento successivo alla filtrazione del mosto. Nel paragrafo successivo la ricerca è stata indirizzata verso l'implementazione della filiera partendo dal sottoprodotto uscente dal birrificio fino al reimpiego dello stesso nel mercato edile.



FIGURA_7 Attuale filiera delle trebbie di birra

NOTE
 [3] www.agrodolce.it
 [4] <http://bioeconomiakm0.crapa.it>

5.3 POSSIBILI SCENARI DI FILIERA

In questo paragrafo si è tentato di delineare le figure imprenditoriali, i costi e i ricavi, per la generazione di una nuova filiera corta per le trebbie di birra sul territorio campano.

È stato ipotizzato uno scenario che prevede un'azienda in grado di fornire servizi conto terzi, in particolare raccolta, stoccaggio, essiccazione e setacciatura delle trebbie di birra al fine della vendita in una o più aziende, per la produzione di termointonaci. Questi servizi sono stati affidati a una terza figura imprenditoriale poiché si è ipotizzato che pochi sarebbero i birrifici in grado di sostenere i prezzi elevati delle attrezzature necessarie, circa 150.000 € [6].

Le quantità di trebbie di birra umide stimate in Campania sono pari a 1.260.000 kg/anno, la realizzazione della filiera progettata continua a rifornire le aziende zootecniche con il 30% di

questa quantità, ovvero 378.000 kg [7]. La restante parte (882.000 kg), una volta concluso il ciclo di essiccazione (247.000 kg) [8], viene suddivisa nel 20% per la produzione di biogas e l'80% per il settore edile, ciò corrisponde alla quantità di, rispettivamente, 59.400 kg e 198.000 kg annue (TABELLA_1).

In quest'ottica il nuovo imprenditore dovrebbe raccogliere il 70% del prodotto umido presente sul territorio.

Si ricorda che il contenuto di umidità è il principale ostacolo per l'utilizzo del sottoprodotto come materia prima seconda, quindi di fondamentale importanza risulta essere l'essiccazione delle trebbie di birra.

L'essiccazione al naturale non è supportabile in un'ottica di filiera industrializzata a causa delle grandi quantità di trebbie di birra previste che devono essere poste all'aria, in un luogo coperto, in uno strato di massimo 3 cm e per la necessità di rimestaggio di almeno 3 volte al giorno.

L'azienda ipotizzata deve, quindi, disporre di un luogo per lo stoccaggio del sottoprodotto e di forni industriali

a basse temperature (120 °C) con capacità indicativa di 1750-2800 kg, per l'essiccazione. È opportuno che i tempi di raccolta del sottoprodotto uscente dal processo di birrificazione, di trasporto, di stoccaggio e di essiccazione siano concordati in modo da ottenere il completamento del processo in un massimo di 48h; l'essiccazione in forno deve essere effettuata a 75 °C per 24h (paragrafo 3.3) per raggiungere un'umidità finale inferiore al 18%. Il trasporto deve essere effettuato con mezzi idonei alla movimentazione di sacchi in polipropilene e comunque dotati di rivestimenti di facile pulitura per evitare depositi permanenti di materiali residui; il trasporto deve essere ridotto ai tempi tecnici di percorrenza tra il birrificio e lo stoccaggio. Il flusso delle trebbie di birra umide nei luoghi di raccolta deve essere commisurato alla portata massima dei forni. Successivamente, le trebbie essiccate vengono vagliate grazie a un agitatore per setacci adatto a grandi volumi (tra 1.000 e 20.000 kg/h) per la separazione in diverse granulometrie. Le trebbie di birra con granulometria maggiore rappresentano il 20% per la produzione di biogas; nel caso in cui questa percentuale venga superata si procede con lo sminuzzamento della granulometria grossa e successiva setacciatura. La restante parte viene mantenuta divisa, e miscelata in base ai

valori percentuali stabiliti per ottenere una corretta granulometria calibrata utilizzabile come aggregato vegetale (paragrafo 3.3). La fase di stoccaggio della massa secca può avvenire in magazzino o in silos a temperatura e umidità controllate. I kilogrammi di sottoprodotto così ottenuto vengono venduti come materia prima seconda nei siti di produzione di calcestruzzi leggeri, prossimi all'azienda in un raggio di circa 100 km.

Costatata l'assenza di una figura in grado di coprire questo ruolo sul territorio campano, è stata condotta una stima di calcolo dei costi di approvvigionamento delle trebbie di birra a partire dai costi di lavorazione agromeccanica presenti nei tariffari "delle lavorazioni meccanico agrarie e industriali per conto terzi" di diverse regioni, dettati dal C.A.I [9].

La nuova azienda preleva le trebbie di birra umide dai birrifici per 4 € (valore medio) ogni 100 kg [L. Fillaudeau et al., 2006]; ciò significa che un birrificio con una produzione annua di birra pari a 500hl ha un minimo introito di 500 €/anno e si libera dei costi di smaltimento. Complessivamente l'azienda avrebbe un costo annuo del sottoprodotto pari a 10.000 €. I costi interni per il contoterzista relativi al trasporto ammontano a 7,15 €/t a ora [10]. Si presume che, ai fini della realizzazione della filiera corta, le distanze che intercorrono tra birrifici e azienda di stoccaggio non superino i 100

REGIONE CAMPANIA	SOTTOPRODOTTO: LE TREBBIE DI BIRRA
Birra prodotta (hl/anno)	63.000 hl
Trebbie di birra umide (kg/anno)	1.260.000 kg
Quantità recuperabile-aziende zootecniche-(kg/anno)	378.000 kg
Trebbie di birra secche (kg/anno)	882.000 kg
Quantità recuperabile-settore edile-(kg/anno)	198.000 kg
Quantità recuperabile-biogas-(kg/anno)	59.400 kg

TABELLA_1 Quadro sinottico stimato delle quantità di trebbie di birra recuperabili in Campania

km. Questo significa che, per la raccolta di tre carichi al mese nel birrificio più lontano geograficamente dall'azienda, con il massimo del quantitativo di trebbie di birra reperibili in un mese (16.500 kg), i costi ammontano a circa 945 euro mensili (circa 11.300 €/anno). I costi per l'essiccazione di una sostanza all'80% di umidità ammontano a 40 €/t [11], per una spesa stimata di 660 € mensili. I costi relativi alla setacciatura sono riferiti a quelli per i cereali essiccati e ammontano a 135 €/Ha, si stimano essere 1.600 € annui. I costi per trinciare le trebbie di birra con granulometria grossa ammontano a 2.70 €/t [12] ovvero circa 200 € annui.

L'azienda contoterzista si dovrebbe collocare nella provincia del napoletano, nella zona industriale di Pomigliano d'Arco, punto centrale del territorio, distando dai birrifici più lontani delle altre province: 96 km dal salernitano, 58 km dall'avellinese, 74 km dal casertano e 55 km dal beneventano.

Il contoterzista rifornirebbe un'azienda di materiali per il settore edile, che già confeziona prodotti secondo gli standard

della UNI EN ISO 14021 [13], sita nel casertano, a 27 km [14] (FIGURA_8).

Con la disponibilità sul territorio campano di trebbie di birra (190.000kg) vengono prodotti 1.860 m³ di D.R.I.N.C. Beer. Nella Tabella 2 vengono specificati i quantitativi di materiale per 1m³ del termointonaco in esame.

Si ipotizza che ogni kg della materia prima seconda possa essere venduto a 2.00 €/kg [15] (acquisto del sottoprodotto pari a 0.04 cent/kg), ciò garantirebbe all'azienda contoterzista, una volta recuperate le spese iniziali, un ricavo proveniente dal settore edilizio di 380.000 €, a cui bisogna sottrarre le spese annue precedentemente stimate, e il costo del personale dell'azienda. Le spese, per l'imprenditore, di un'operaio specializzato ammontano a 40.000 €/anno, si suppone che il sistema abbia bisogno di tre operai. Per cui, il ricavo stimato risulta essere di 365.000 € annui (FIGURA_9).

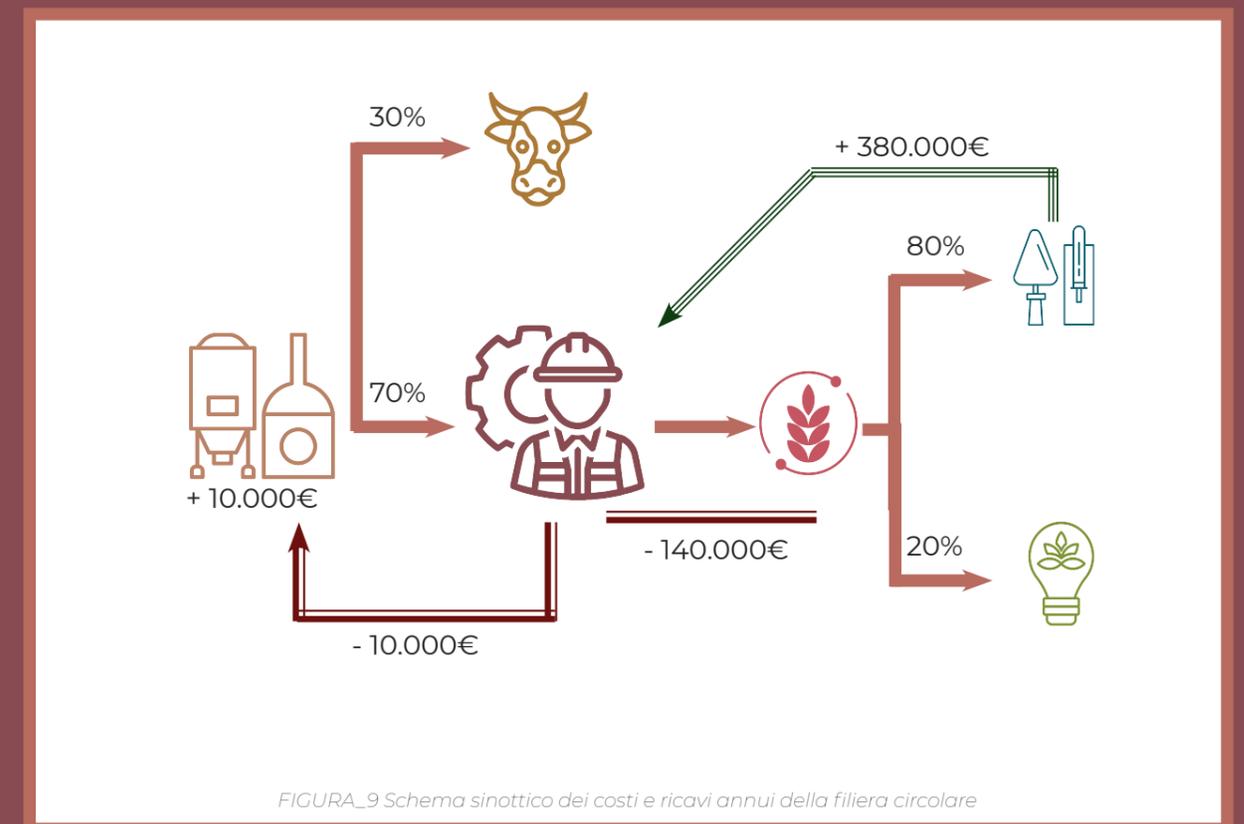


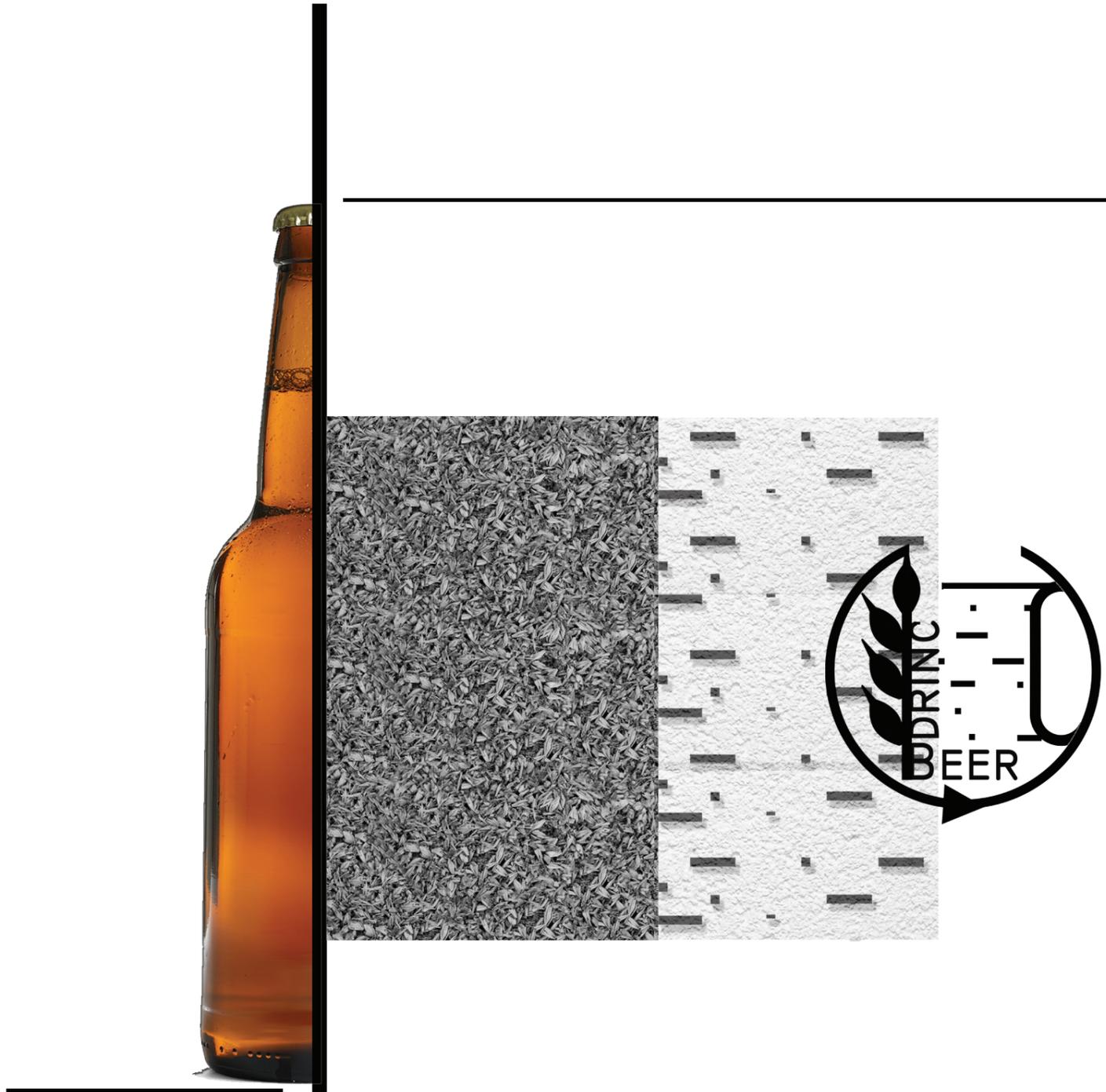
D.R.I.N.C. B_25	
Cemento Prompt	484 kg
Perlite espansa	86 kg
Trebbie di birra	102 kg
D.R.I.N.C. B_27	
Cemento Prompt	484 kg
Perlite espansa	82 kg
Trebbie di birra	102 kg
Paglia di riso	4 kg

TABELLA_2 Ingredienti delle malte D.R.I.N.C. Beer in kg per 1 m³ di intonaco

NOTE

- [5] <https://docplayer.it/10769176-Tariffario-dei-costi-medi-d-esercizio-delle-principali-lavorazioni-agromeccaniche-anno-2011.html>
- [6] Il prezzo fa riferimento a un forno per l'essiccazione della trebbia, un vibrovaglio industriale, un mulino elettrico per cereali. <https://www.mecmargroup.com/it>
- [7] Il 30% rappresenta la percentuale di trebbie di birra umide attualmente inglobate nelle aziende zootecniche sul territorio nazionale.
- [8] Le quantità di trebbie di birra secche, integrate come materie prime seconde in malte e biogas, sono state stimate applicando un decremento del 72% alla quantità umida (paragrafo 5.2)
- [9] C.A.I. è l'acronimo di "Confederazione Agromeccanici e Agricoltori Italiani". Nel 2019 in Campania viene fondata UNICAI anche con l'obiettivo di monitoraggio dei prezzi praticati dai Contoterzisti campani al fine di pubblicare un tariffario regionale delle lavorazioni agromeccaniche. Il prezzario risulta in lavorazione.
- [10] https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaArticolo?art.progressivo=0&art.idArticolo=1&art.versione=1&art.codiceRedazionale=08A03002&art.dataPubblicazioneGazzetta=2008-05-07&art.idGruppo=0&art.idSottoArticolo=10&art.idSottoArticolo=1&art.flagTipoArticolo=1
- [11] [11] <https://www.contoterzisti.it/tariffe/TARIFFARIO%20UMBRIA.pdf>
- [12] <https://docplayer.it/10769176-Tariffario-dei-costi-medi-d-esercizio-delle-principali-lavorazioni-agromeccaniche-anno-2011.html>
- [13] UNI EN ISO 14021:2016 "Etichette e dichiarazioni ambientali - Asserzioni ambientali auto-dichiarate (etichettatura ambientale di Tipo II)"
- [14] <https://www.malvinsrl.com/>
- [15] Prezzo stimato sul costo della perlite espansa = 152 €/kg





FIRST DRINK IT THEN D.R.I.N.C. BEER



CONCLUSIONE

Il lavoro complessivamente condotto è stato strutturato per ottenere due obiettivi specifici: testare le potenzialità delle trebbie di birra per il confezionamento di intonaci, e mettere materialmente in pratica i principi dell'economia circolare.

Da una prima analisi, è emersa la crescita esponenziale, negli ultimi anni, delle aziende brassicole in Italia. Una produzione sempre maggiore di birra comporta però un aumento significativo sul territorio nazionale di residui di produzione, come le trebbie di birra, che potenzialmente potrebbero essere reimpiegate in altri ambiti.

La ricerca sul sottoprodotto si è tradotta nel confezionamento di due malte. E la lunga fase di sperimentazione ha permesso di incorporare negli impasti la percentuale in peso dell'aggregato vegetale più alta possibile per ottenere un intonaco coeso.

I risultati ottenuti nelle verifiche sperimentali hanno mostrato che l'uso di questo sottoprodotto in un impasto cementizio leggero risulta efficace, rispettando gli standard imposti dalla normativa.

Sebbene i valori prestazionali siano soddisfacenti, un'ulteriore analisi sul confezionamento dei mix-design, in particolare, diminuendo il rapporto acqua/cemento, ne migliorerebbe i valori di resistenza meccanica senza compromettere la lavorabilità dell'impasto.

In questo studio, si è scelto di integrare le criticità relative allo smaltimento dei rifiuti con l'applicabilità reale dei concetti di economia circolare, si è scelto di ipotizzare uno scenario di filiera circolare in un contesto locale: la Campania.

È stato analizzato che il quantitativo di trebbie di birra presenti sul territorio campano garantirebbe l'approvvigionamento al settore edile locale, pur continuando a sostenere le aziende zootecniche e implementando la circolarità della filiera alla produzione di biogas. Si otterrebbero in questo modo diversi vantaggi: maggiori introiti, la risoluzione dei problemi legati allo smaltimento del residuo per i birrifici, e lo sviluppo di una nuova figura imprenditoriale contoterzista che ne trarrebbe un guadagno economico. Il settore edile, invece, ne gioverebbe

con il reperimento di un aggregato economico, efficace.

La difficoltà maggiore si evidenzia nella fase di stoccaggio e di essiccazione delle trebbie di birra, legata all'umidità e alla presenza di sostanze nutritive nel sottoprodotto che comporta una labile stabilità microbica e quindi la necessaria riduzione dei tempi impiegabili per l'essiccazione. Per queste ragioni, è stata ipotizzata l'attrezzatura necessaria (forni, setacci, sminuzzatori ecc.) di cui dovrebbe avvalersi la nuova figura imprenditoriale.

Sono state fatte le prime considerazioni sul business model dell'impresa e quindi ipotizzate soluzioni strategiche e organizzative per l'acquisizione di competitività sul mercato.

Nell'ottica pratica di fondazione dell'azienda contoterzista, essa si inserirebbe nel RIS3-Campania "Strategia regionale di ricerca ed innovazione per la specializzazione intelligente" [1]. Questo rappresenta un incentivo, stanziato della Regione, per il sostegno della competitività del tessuto imprenditoriale, rivolto a diversi settori industriali tra cui "Costruzioni ed edilizia sostenibile". Un altro incentivo potrebbe essere "Resto al Sud", nato per sostenere la nascita e lo sviluppo di nuove attività imprenditoriali, stanziando agevolazioni che coprono il 100% delle spese di start up o sviluppo d'impresa [2].

Si precisa che l'attività di ricerca potrebbe essere implementata con uno studio Life Cycle Assessment (LCA), una metodologia che valuterebbe l'impatto ambientale della malta. Sarebbero così quantificati i valori di alterazione ambientale associati al ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime alla loro dismissione finale. Questa valutazione potrebbe essere di difficile stesura per la mancanza di dati riguardanti le trebbie di birra.

Sperimentare nuovi elementi tecnici per riuscire a realizzare nuovi settori, progettati in ottica sostenibile, significa aprire schemi chiusi, allargare i confini e spingersi verso nuovi orizzonti di specializzazione.

D.R.I.N.C. Beer sperimenta la complessità attraverso

l'interazione di due settori completamente diversi, puntando alla realizzazione della loro unione, volta a una filiera circolare. A tal proposito, Fritjof Capra, teorico della fisica, nel suo libro "Il Tao della fisica" scrive: «Tutto ciò che vive è complesso, e per comprendere questa complessità occorre avere gli strumenti per giungere a una sintesi che unifichi le quattro dimensioni: biologica, cognitiva, sociale ed ecologica. È necessario passare a una visione della vita come rete di relazioni, che si esprime su questi quattro livelli»

I progettisti hanno il compito di favorire la cooperazione attiva tra portatore di interesse e utenti, comprendendo le esigenze di entrambi e progettando la complessità. Per poter realizzare i cambiamenti macroscopici necessari per l'applicazione dell'economia circolare alle industrie – a quella brassicola, in questo caso – è fondamentale alimentare il bisogno di cambiamenti strutturali e comportamentali, sia collettivi che individuali, attraverso lo studio e la sperimentazione di nuove idee nella cultura della complessità.

Il filosofo Edgar Morin, che ha profondamente analizzato questo concetto applicato ai diversi ambiti della conoscenza umana, sostiene che la scienza ecologica è una scienza complessa poiché permette di collegare molteplici discipline e, attraverso questa etica dell'unione, ci consente di indagare i problemi vitali della relazione, essa stessa complessa, fra l'essere umano e la natura.

Nell'ottica di questa complessità, un atto semplice come bere una birra può contribuire alla produzione di un materiale ecologico con il quale costruire un futuro più sostenibile perché "Tutto ciò che non si rigenera degenera" [E. Morin, 2015].

"Ricordate di preferire birre aperte a menti chiuse" (Anonimo)

NOTE
[1] file:///C:/Users/Stefania/Downloads/Allegato_151243.pdf
[2] <https://www.invitalia.it/cosa-facciamo/creiamo-nuove-aziende/resto-al-sud>

BIBLIOGRAFIA

MONOGRAFIA

A. Pellezzari, E. Genovesi, (2017) "Neomateriali nell'economia circolare", Milano, Edizioni Ambiente

E. Morin, (2015) "Insegnare a vivere", Raffaello Cortina Editore

F. Capra, (1989) "Il Tao della fisica", Adelphi Edizioni

G. G. Stewart, F. G. Priest, (2006) "Handbook of Brewing", editore CRC Press

M. Antonini, F. Re Cecconi, (2012) "Manuale del collaudo e dei controlli tecnici per opere edili, civili e impiantistiche", Maggioli Editore

M. Gastaldi, L. Bertolini, (2011) "Introduzione ai materiali per l'architettura", Edizione Città studi

R. Giordano, G. Scudo, M. Grosso, (2010) "Prodotti per l'edilizia sostenibile. La compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio, Napoli, Esselibri S.p.a.

PAPER DI RICERCA

A. Bianco, M. Budroni, S. Zara, I. Mannazzu, F. Fancello, G. Zara, (2020) "The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain", Appl Microbiol Biotechnol 104, pp.8661-8678

A. Formisano, E. J. Dessì, A. Basile, A. Impagliato, (2020) "Sperimentazione su malte di calce fibro-rinforzate con juta: prove di lavorabilità e di resistenza a flessione"

A. Hospido, M. T. Moreira, G. Feijoo, (2005) "Environmental analysis of beer production", International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology

A. L. McCarthy, Y. C. O'Callaghan, C. O. Piggott, R. J. FitzGerald, N. M. O'Brien, (2012) "Brewers' spent grain; bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: a review", Proceedings of the Nutrition Society, pp.117-125

A. Osman, E. O'Connor, G. McSpadden, J. K. Abu-Dahrieh, C. Farrell, A. H. Al-Muhtaseb, J. Harrisonb, D. W. Rooneya, (2019) "Upcycling brewer's spent grain waste into activated carbon and carbon nanotubes for energy and other applications via two-stage activation", Journal of Chemical Technology & Biotechnology, pp. 183-195

C. Xiros, P. Christakopoulos, (2006) "Biotechnological Potential of Brewers Spent Grain and its Recent Applications", Waste Biomass Valor 3, pp.213-232

C. Gravaglia, (2020) "The Birth and Diffusion of Craft Breweries in Italy", Economic Perspectives on Craft Beer, Springer International Publishing

C. Maraveas, (2020) "Production of Sustainable Construction Materials Using Agro-Wastes", Materials, pp.13-262

E. Ferraz, J. Coroado, J. Gamelas, J. Silva, F. Rocha, A. Velosa, (2013) "Spent Brewery Grains for Improvement of Thermal Insulation of Ceramic Bricks", Journal of Materials in Civil Engineering, pp. 1638-1646

E.I. El-Shafey, M.L.F.Gamiero, P.F.M.Correia, J.M.R. De Carvho, (2004) "Dewatering of Brewer's Spent Grain Using a Membrane Filter Press: A Pilot Plant Study", Separation Science and Technology, pp. 692-700

G. Pauli, (2010) "Case 84: The Magic of Beer"

G. Pauli, (2015) "Case 109: Clustering Beer, Energy and Food"

G. S. Simate, J. Cluett, S. E. Iyuke, E. T. Musapatika, S. Ndlovu, L. F. Walubita, A. E. Alvarez, (2010) "The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art", Desalination, pp.273-247

G. Sperandio, T. Amoriello, K. Carbone, M. Fedrizzi, A. Monteleone, S. Tarangioli, M. Pagano, (2017) "Increasing the Value of Spent Grain from Craft Microbreweries for Energy Purposes", Chemical Engineering Transactions, pp. 487-492

I. Ferreira, O.Pinho, E.Vieira, J.G.Tavarela, (2010) "Brewer's Saccharomyces yeast biomass: characteristics and potential applications", Trends in Food Science & Technology, pp.77-84

J. A. Robertson, K. J. A. Anson, J. Treimo, C. B. Faulds, T. F. Brocklehurst, V. G. H. Eijsink, K. W. Waldron, (2010) "Profiling brewers' spent grain for composition and microbial ecology at the site of production", LWT - Food Science and Technology, pp.890-896

J. Andreotti, D. Faruku, R. Giordano, (2021): Cross-Fertilization Between Architecture and Agricultural: A Circular Supply Chain. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol. 203. Springer, Singapore, pp. 243-254

J. Gil-Martinez, E. Arendt, S. Muench, (2020) "A process for microbial stabilization and processing of brewers spent grain, microbiologically stabilized brewers spent grain powder and use thereof field of the invention"

J. Pejin, M. Radosavljević, S. Kocić-Tanackov, R. Marković, A. Djukić-Vuković, L. Mojović, (2019) "Use of spent brewer's yeast in L-(+) lactic acid fermentation", Journal of the Institute of Brewing, pp.357-363

K. Rachwał, A. Waśko, K. Gustaw, M. Polak-Berecka, (2020) "Utilization of brewery wastes in food industry"

K. S. Low, C. K. Lee, S. C. Liew, (2000) "Sorption of cadmium and lead from aqueous solutions by spent grain", Process Biochemistry, pp. 59-64

L. Bianco, V. Serra, S. Fantucci, M. Dutto, M. Massolino, (2015) "Thermal insulating plaster as a solution for refurbishing historic building envelopes: First experimental results", *Energy and Buildings*, pp.86-91

L. Fillaudeau, P. Blanpain-Avet, G. Daufinc, (2006) "Water, wastewater and waste management in brewing industries", *Journal of Cleaner Production*, pp.463-471

L. Mendesa, A. D. Rodrigues Pontinha, P. Alvesa, P. Santos, L. Durães, (2021) "Progress in silica aerogel-containing materials for buildings' thermal insulation", *Construction and Building Materials*, June 2021

L. Motitschk, H. Hagen, T. Dortmund, (1991) "Medical compositions based on spent brewers' grain extract, a process for the preparation thereof, and the use of spent brewers' grain extract for the preparation of cosmetic composition"

M. Nelson, (2014) "The Geography of Beer in Europe from 1000 BC to AD 1000", *The Geography of Beer*, pp.9-21

M. Santos, J.J. Jimenez, B. Bartolomè, C. Gomez-Cordoves, M.J. del Nozal, (2003) "Variability of brewer's spent grain within a brewery", *Food Chemistry*, pp.17-21

M.S. Lekshimi, S. Vishnudas, R. Anil, (2021) "Lignocellulosic materials as reinforcement and replacement for binders in masonry mortar", *Construction and Building Materials*, May 2021

N. J. Huige (2006) "Brewery by-products and effluents", *Handbook of brewing*, pp.60

O. Sengul, S. Azizi, F. Karaosmanoglu, M. A. Tasdemir, (2011) "Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete", *Energy and Buildings*, pp.671-676

P. Ravichandran, P. Sugumaran, S. Seshadri, A. H. Basta, (2018) "Optimizing the route for production of activated C from Casuarina equisetifolia fruit waste", *Royal Society Open Science*

R. Giordano, D. Faruku, S. Riccio, (2021) "DRINC Beer: Designing Recycle IN Concrete with Beer", *Pre-free Up-down Re-cycle*, IV Convegno Internazionale, Roma

R. Giordano, E. Montacchini, S. Tedesco, (2020) "ALL YOU CAN'T EAT: Research and Experiences from Agri-Food Waste to New Building Products in a Circular Economy Perspective", *Industrial Symbiosis for the Circular Economy*, Springer International Publishing

R. Schildbach, W. Ritter, K. Schmithals, M. Burbidge, (1992) "New developments in the environmentally safe disposal of spent grains and waste kieselguhr from breweries"

S. Birkmire, C. Lindeman, B. Duff, J. Spooner, M. Yancey, (2009) "Conversion of biomass into ethanol"

S. Gupta, K. N. Palansooriya, P. D. Dissanayake, Y. Sik, H. W. Kua, (2020) "Carbonaceous inserts from lignocellulosic and non-lignocellulosic sources in cement mortar: Preparation conditions and its effect on hydration kinetics and physical properties", *Construction and Building Materials*, December 2020

S. Manso, M. Á. Calvo-Torras, N. De Belie, I. Segura, A. Aguado, (2015) "Evaluation of natural colonisation of cementitious materials: Effect of bioreceptivity and environmental conditions", *Science of The Total Environment*, pp.444-453

S. Pranavan, G. Srinivasan, (2021) "Investigation on behaviour of M-sand and sea sand based concrete", *Materials Today: Proceedings*, pp.7079-7085

S.I. Mussatto, G. Dragone, I.C. Roberto, (2006) "Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications", *Journal of Cereal Science*, pp.1-14

T. Ashour, H. Wieland, H. Georg, F.J. Bockisch, W. Wue, (2010) "The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings", *Materials & Design*, pp.4676-4685

T. Rocha, P. P. Moretzsohn, E. F. Camporese Servulo, (2014) "Solid wastes in brewing process: a review", *Journal of Brewing and Distilling*, pp.1-9

Brewersofeurope, (2020) "The Contribution made by Beer to the European Economy - March 2020" https://brewersofeurope.org/site/media-centre/index.php?doc_id=986&class_id=31&detail=true

BarthHass (2020) "BarthHass Report hops 2019/2020" https://www.barthhaas.com/fileadmin/user_upload/downloads/barth-berichte-broschueren/barth-berichte/englisch/2010-2020/barthhaas_report_2020_en.pdf

The Business Research Company (2021) "Beer Global Market Report 2021: COVID-19 Impact and Recovery to 2030" <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/beer-global-market-report>

Assobirra (2019) "Annual Report 2019" https://www.assobirra.it/wpcontent/uploads/2020/07/AnnualReport_2019_S.pdf

Microbirrifici, (2020) https://www.microbirrifici.org/Campania_birrifici_regione.aspx

Assobirra, (2012) <https://www.assobirra.it/nasce-lassociazione-birra-della-campania-produrra-birre-con-materie-prime-regionali/>

The Brewers of Europe (2020) "The Contribution made by Beer to the European Economy- Italy - March 2020" <https://brewersofeurope.org/uploads/mycms-files/documents/publications/2020/economic-report-italy.pdf>

Ecocolture (2011) "Banca dati Ecocrop" <https://www.feedipedia.org/node/227>

TESI

Brewers Association (2010) "Water and Wastewater: Treatment/Volume Reduction Manual" https://www.brewersassociation.org/attachments/0001/1517/Sustainability_-_Water_Wastewater.pdf

Rete Rurale Nazionale 2014-2020, Atti di convegno "Criticità e opportunità per lo sviluppo sostenibile della filiera brassicola" Roma, 26 ottobre 2016, https://www.academia.edu/30444023/CRITICITA%3%80_E_OPPORTUNIT%3%80_PER_LO_SVILUPPO_SOSTENIBILE_DELLA_FILIERA_BRASSICOLA

B. D'Agata, (2016) "Il guscio di mandorla come aggregato naturale nel termointonaco : sviluppo di prodotto e analisi teorico-sperimentale della prestazione energetico-ambientale", Tesi di Laurea in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino

D. Ceccaroli, (2019) "Come diventare birraio" Slide, Università di Perugia, Centro di Eccellenza per la Ricerca sulla Birra

E. Moretti, (2018) "L'acqua nella produzione della birra", Slide, Università di Perugia, Centro di Eccellenza per la Ricerca sulla Birra

E. Moretti, (2019) "Il luppolo", Slide, Università di Perugia, Centro di Eccellenza per la Ricerca sulla Birra

F. Balsarini, (2016) "Aspetti gestionali e produttivi del birrifico agricolo WB Valle Camonica", Tesi di laurea in Scienze Agrarie e Alimentari, Università della Montagna

F. De Rossi, (2015) "Modulo di Tecnica del Controllo Ambientale, Componenti e tecnologie dell'involucro opaco", Slide, Federico II di Napoli

G. Costa, (2011) "Materiali e tecniche per le finiture ad intonaco nella Sicilia Orientale: conoscenza, analisi e prestazioni" Tesi di dottorato, Università degli studi di Palermo

G. De Francesco, (2019) "Produzione del malto d'orzo. Slide Università di Perugia", Slide, Università di Perugia, Centro di Eccellenza per la Ricerca sulla Birra

G. De Francesco, (2019) "Produzione del mosto", Slide, Università di Perugia, Centro di Eccellenza per la Ricerca sulla Birra.

I. Cosentino, (2017) "L'uso del Bio-char per calcestruzzi sostenibili e durevoli", Tesi di laurea Magistrale, Politecnico di Torino

S. Riccio, (2020) "The circular economy concept applied to the brewery industry", Saggio di ricerca, Politecnico di Torino

<https://www.researchgate.net>

<https://www.sciencedirect.com>

<https://www.springerprofessional.de>

<https://www.store.uni.com>

<https://www.orbit.com>

<https://www.springer.com>

<https://www.normattiva.it>

<https://www.gazzettaufficiale.it>

<https://www.elsevier.com>

<https://www.semanticscholar.org>

<https://www.google.it/>

<https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/altri/sostenibilita-materiali-costruzione-634/>

<https://www.vicat.com/>

<https://www.cronachedibirra.it>

<http://www.enea.it/>

<https://www.unionbirrai.it>

<https://www.cambridge.org>
<https://www.cna.it>

<http://www.ambiente.it/>

<http://www.gazzettaufficiale.it/>

https://brewersofeurope.org/site/media-centre/index.php?doc_id=986&class_id=31&detail=true

<https://www.unep.org/resources/report/global-material-flows-and-resource-productivity-assessment-report-unep>

https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52008DC0699>

file:///C:/Users/Stefania/Downloads/Allegato_151243.pdf

<http://ris3.regione.campania.it/>

https://www.vimark.com/wp-content/uploads/2016/02/THERMOINTONACO_0116_ITA.pdf

<https://www.enciclopediadelbirra.it/storia-della-birra/storia-della-birra-in-italia/>

SITOGRAFIA

BANCHE DATI

<https://brewersofeurope.org>

<https://www.assobirra.it/>

<https://www.enciclopediadellabirra.it/produzione-della-birra/luppolo-un-po-di-chimica/>

<https://www.beverfood.com/birrifici/italia.html>

<https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:2016;154>

https://www.microbirrifici.org/Beer_Firm_news.aspx

<https://www.ilbirraiomatto.it/il-lievito-nella-birra/>

<https://www.britannica.com/topic/beer/Germination>

<https://www.mastribirraumbri.com/la-ricetta-della-birra/>

<https://www.brewersAssociation.org>

<https://www.ecologixsystems.com/brewery-wastewater-treatment/>

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it

<https://brewing4.eu/#>

<https://brewing4.eu/#ourareasoffocus>

<https://www.chefkoch.de/rezepte/656451167319023/Treberbrot.html>

<https://www.sfridoo.com/2020/07/21/video/mangiare-la-birra-in-unottica-di-economia-circolare-ecco-trebo/>

https://ley.circularfood.it/?gclid=CjwKCAjwnPOEBhA0EiwA609Re co-dl0KWV_dGoRAQteTkESSFtRdmdMYR2qygQeVTJKQydCx4NGf-RoCwzYQAvD_BwE

<https://www.giornaledellabirra.it/approfondimenti/dalla-birra-alla-cosmesi-nasce-la-prima-linea-dedicata-al-corpo-e-alla-bellezza-100-made-in-italy/>

www.theblueeconomy.org

<http://www.wildwoodbrewing.com/integrated-system/>

<https://www.cyclifier.org/project/tunweni-beer-brewery/>

<http://www.zeri.org/news.html>

<http://www.zeri.org/beer.html>

<http://www.zeri.org/ZERI/Beer.html>

<https://www.birrainforma.it/mattoni-bio-con-gli-scarti-della-birra>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-4337.2010.00112.x>

<http://www.cimentetarchitecture.com>

<https://www.teknoring.com/wikitecnica/tecnologia/calce/>

https://wwf.panda.org/wwf_news/?333451%2FUncovering-sand-minings-impacts-on-the-worlds-rivers

<http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/6139>

<http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/884>

<http://www.cimentetarchitecture.com/it/Cemento-Naturale-Prompt/La-fabbricazione/Caratteristiche-chimico-fisiche-e-mineralogiche>

<http://www.ecampania.it>

<http://www.agrodolce.it>

<http://bioeconomiakm0.crpa.it>

<https://docplayer.it/10769176-Tariffario-dei-costi-medi-d-esercizio-delle-principali-lavorazioni-agromeccaniche-anno-2011.html>

https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaArticolo?art.progressivo=0&art.idArticolo=1&art.versione=1&art.codiceRedazionale=08A03002&art.dataPubblicazioneGazzetta=2008-05-07&art.idGruppo=0&art.idSottoArticolo1=10&art.idSottoArticolo=1&art.flagTipoArticolo=1

<https://www.contoterzisti.it/tariffe/TARIFFARIO%20UMBRIA.pdf>

<https://docplayer.it/10769176-Tariffario-dei-costi-medi-d-esercizio-delle-principali-lavorazioni-agromeccaniche-anno-2011.html>

<http://www.hackthemat.com/it>

<https://www.invitalia.it/cosa-facciamo/creiamo-nuove-aziende/resto-al-sud>

file:///C:/Users/Stefania/Downloads/Allegato_151243.pdf

www.Asahigroup.com

“Ma chi l'avrebbe detto mai,
Com'è volato il tempo,
La vita forse va così
Ti affianca e ti sorpassa
E tu che tiri dritto,
Ti sembra sempre di andar piano
Invece insegui la tua storia
E sei arrivato fino a qui,
Ma chi l'avrebbe detto mai.
Grazie a tutti,
Con il cuore, a tutti quanti,
A chi mi vuole bene,
A chi mi ha insegnato a guardare avanti
Ed anche a chi mi ha fatto male,
Mi è servito per capire,
Grazie a chi mi ha detto no,
Ad un sorriso sconosciuto,
Ad una nonna, ad un amico
E a quella porta chiusa in faccia,
A chi non mi ha tradito quella volta.
E' una questione d'ironia,
Se vuoi sdrammatizzare
E quando pensi di sapere
Hai ancora da imparare,
Se corri arrivi più veloce
Ma forse perdi delle cose
E quando credi sia finita

Un'occasione nuova avrai,
Ma chi l'avrebbe detto mai.
Grazie a tutti,
Con il cuore, a tutti quanti,
A chi mi vuole bene,
A chi mi ha insegnato ad andare avanti
Ed anche a chi mi ha fatto male,
Mi è servito ad imparare,
Grazie a chi mi ha detto no,
Al sorriso di un bambino,
A una donna, alla mia sposa.
Grazie a tutti,
Che date vita alla mia vita,
In questa favola infinita,
Che mi ha insegnato a guardare avanti
Anche se ferito al cuore,
Mi è servito per capire,
Grazie a chi mi ha detto no,
Alle sfide, alle salite
Ed alle mani di mio padre
E a quella porta chiusa in faccia,
A chi non mi ha tradito quella volta
Per quanto ho dato e quanto ho avuto,
Per quanto ho riso, pianto, sperato,
Per ogni giorno che ho ricominciato,
Per ogni istante regalato, voglio dire:
GRAZIE A TUTTI!”