

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Architettura Per Il Progetto Sostenibile

Anno Accademico 2017-2018



ECOFFI

Ecological Concrete Filled Fibers

Progetto, sviluppo e monitoraggio
di un sistema di involucro a base di cemento naturale
e fibre vegetali riciclate

RELATORE:

Roberto Giordano

CORRELATORI:

Corrado Carbonaro

Elena Montacchini

In collaborazione con:

Sarotto Group (Narzole, CN)

Vicat Group (Grenoble, FR)

CANDIDATI:

Denis Faruku

Jacopo Andreotti

INDICE

INDICE	2
PREMESSA	5
PARTE I. ELEMENTI DI INVOLUCRO E SOTTOPRODOTTI DI ORIGINE VEGETALE	9
1. STATO DELL'ARTE	10
1.1 Analisi del sistema "Klima Sismico"	11
1.1.1 Materiali e componenti	11
1.1.2 Reperimento delle materie prime	14
1.1.3 Cemento Prompt	15
1.1.4 Prestazioni "Klima Sismico"	17
1.1.5 Posa in opera	18
1.2 Definizione e requisiti generali del blocco ECOFFI	19
1.3 Analisi di anteriorità	22
1.3.1 Indagine sulle colture piemontesi e selezione delle filiere	56
2. NORMATIVA SUI SOTTOPRODOTTI AGRICOLI	60
2.1 Decreto legislativo 152 del 3 Aprile 2006 parte IV	61
2.2 Direttiva 2008/98/CE e Decreto legislativo 205/2010	63
2.3 Decreto Ministeriale 6 Luglio 2012	65
2.4 Decreto 13 Ottobre 2016, n. 264	69
PARTE II. MAIS, RISO E FRUMENTO: DA FILIERA LINEARE A FILIERA CIRCOLARE	70
3. FILIERA DEL MAIS	71
3.1 Storia e morfologia della pianta	72
3.2 Ciclo vegetativo e ambientale	73
3.3 Raccolta dei tutoli	75
3.4 Filiera di stoccaggio e mercato	77
3.5 Implementazione della filiera	80
4. FILIERA DEL RISO	83
4.1 Storia e morfologia della pianta	84

4.2 Ciclo vegetativo e ambientale	85
4.3 Sottoprodotti del riso	88
4.4 Raccolta della paglia	89
4.5 Filiera di stoccaggio e mercato	91
4.6 Implementazione della filiera	94
5. FILIERA DEL FRUMENTO	98
5.1 Storia e morfologia della pianta	99
5.2 Ciclo vegetativo e ambientale	101
5.3 Raccolta della paglia	102
5.4 Filiera di stoccaggio e mercato	103
5.5 Implementazione della filiera	106
PARTE III. VERSO UN NUOVO COMPONENTE PER L'EDILIZIA	109
6. ATTIVITÀ SPERIMENTALE	110
6.1 Selezione delle materie prime	111
6.2 Prima serie di attività e monitoraggio: tutolo al naturale	112
6.2.1 Risultati e discussioni	118
6.3 Seconda serie di attività e monitoraggio: tutolo industrializzato	120
6.3.1 Risultati e discussioni	134
6.4 Terza serie di attività e monitoraggio: paglia di riso e tutolo industrializzato	137
6.4.1 Risultati e discussioni	142
7. VERIFICHE PRESTAZIONALI	145
7.1 Resistenza a compressione: legante - tutolo al naturale	146
7.2 Resistenza a compressione: legante - tutolo industrializzato e paglia di riso	156
7.3 Prestazioni termiche dei conglomerati	166
7.4 Derminazione dell'Embodied Energy	170
RISULTATI E CONCLUSIONI	172
BIBLIOGRAGIA	174

*“E' impossibile avere una società sana senza un giusto
rispetto per la terra.”*

(Peter Maurin).

PREMESSA

Il settore edilizio e agricolo sono i principali responsabili della crisi energetica-ambientale che sta danneggiando la terra. Secondo il rapporto della Global Alliance for Buildings and Construction (GABC) del 2017 si stima che l'edilizia consumi il 36% dell'energia totale finale, di cui il 6% rappresenta la produzione dei materiali come l'acciaio e il cemento. Per quanto riguarda il riscaldamento globale, gli edifici hanno un impatto del 28% sulle emissioni di CO₂ a cui si aggiunge l'11% per la fase di costruzione.

Nel settore agricolo, il metano e il protossido di azoto prodotti: dalla zootecnia, dalle risaie o derivanti dai fertilizzanti costituiscono il 18% delle emissioni totali di gas serra (dato WWF,2015).

Queste tematiche sono state affrontate nella XXI Conferenza sul Cambiamento Climatico di Parigi (COP 21), dove i paesi partecipanti si impegnano a:

- *limitare l'aumento della temperatura media globale al di sotto dei 2 °C rispetto ai livelli preindustriali;*
- *promuovere lo sviluppo inerente al clima e a basse emissioni di gas ad effetto serra;*

- *rendere i flussi finanziari coerenti con un percorso che conduca ad uno sviluppo a basse emissioni.*

Lo scenario futuro implica una lotta al cambiamento climatico a beneficio di: un uso efficiente delle risorse, una gestione e prevenzione dei rifiuti ed economie sociali inclusive.

Dalla rivoluzione industriale fino ai giorni nostri, i sistemi: economici, politici e ambientali si sono basati su un modello lineare (estrai-produci-consuma-getta) che implica un uso abbondante delle risorse, in cui il ciclo di vita di un prodotto termina dopo l'utilizzo dello stesso.

Negli ultimi anni ha preso piede un nuovo modello improntato sull'economia circolare, pilastro della green economy (fig. 1), in cui l'utilizzo delle materie prime è minimizzato e il loro ciclo di vita non si conclude con il consumo. Nel settore edile, l'impiego dei materiali riciclati (abbinati alle qualità tecnologiche e prestazionali) diventa fondamentale per ridurre gli impatti e il fabbisogno energetico.

In quest'ottica, l'obiettivo generale della tesi è di sviluppare, in collaborazione con l'azienda italiana Sarotto s.r.l e la francese



Fig. 1 Schema riassuntivo del concetto di circular e green economy.

Vicat Group, un sistema di chiusura verticale in conglomerato leggero, attraverso l'impiego di un legante naturale e un aggregato 100% biologico. Il riciclaggio dei residui agricoli, legati all'ottimizzazione dei processi di trasporto, consente di realizzare una "filiera corta" in cui gli aggregati sono reperibili in aree vicine ai siti di produzione.

I capitoli della tesi sono organizzati secondo un work flow (Diagr. 2) che riassume tutte le fasi del lavoro e ne spiega la correlazione.

La prima parte analizza le anteriorità degli elementi costruttivi brevettati presenti sul mercato, nazionale ed europeo, che caratterizzano: le pareti perimetrali verticali, le partizioni interne e gli isolanti, realizzati con materie prime, materie prime seconde o sottoprodotti di origine vegetale. In seguito, la ricerca si è focalizzata sull'indagine delle colture presenti sul territorio al fine di selezionare quelle che producono maggiori residui, utili per la realizzazione del nostro blocco.

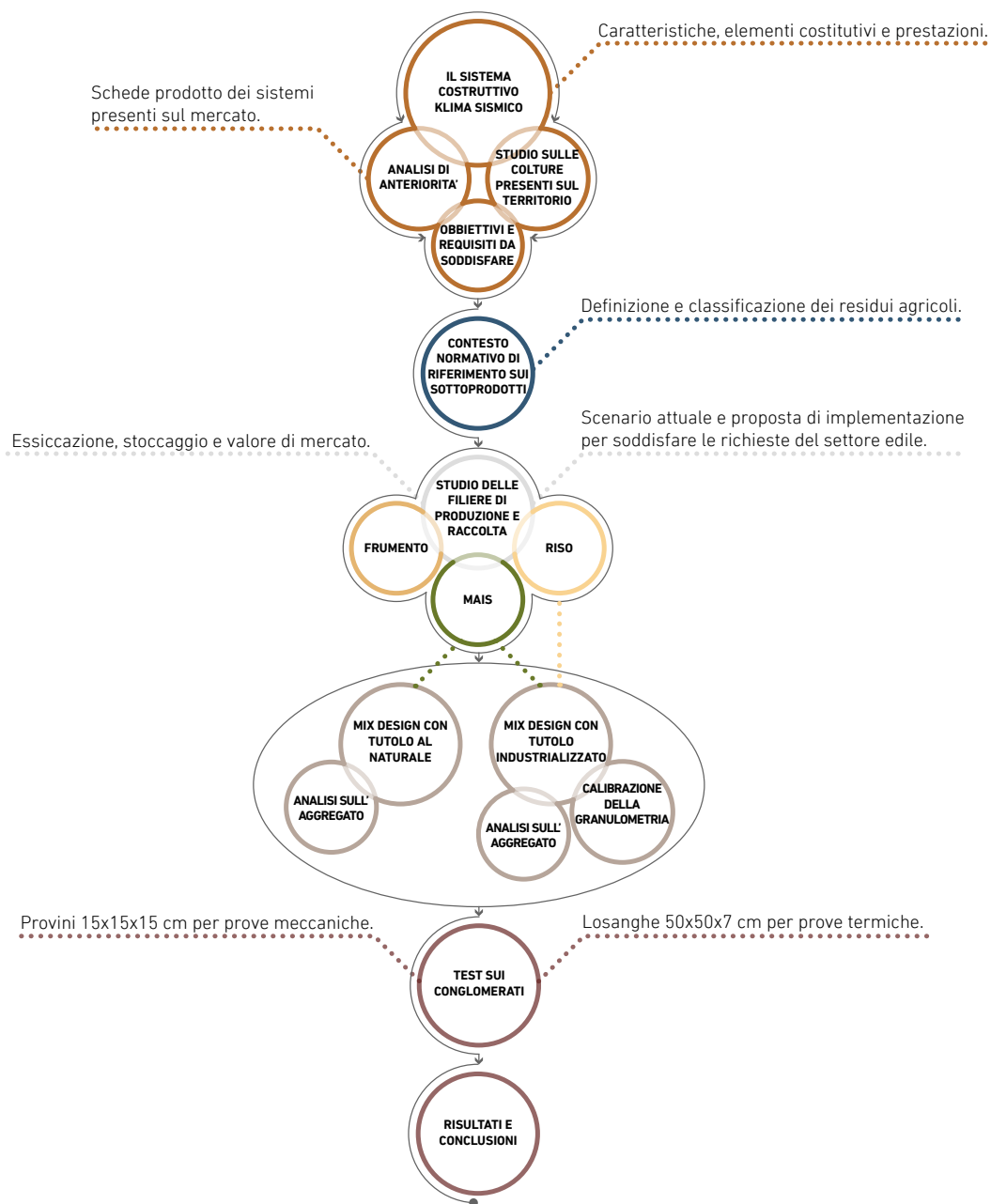
Sebbene la normativa classifichi le eccedenze di campo delle aziende agricole come sottoprodotti, nella pratica comune sono considerati degli scarti, poiché le filiere attuali non sono incentivate a raccogliere e stoccare queste risorse. Soltanto il 20-30% della paglia di riso e il 10-20% dei tutoli di mais (dato ENAMA, 2011), presenti sul territorio italiano, entrano in processi di recupero e valorizzazione.

Nei capitoli seguenti, si analizzano le filiere delle tre principali colture piemontesi: mais, riso e frumento; si evidenzia il loro andamento lineare e si ipotizza uno scenario circolare in collaborazione con esperti nel settore.

La successiva fase sperimentale prevede la

realizzazione di campioni su cui elaborare una serie di analisi e di valutazioni sulle caratteristiche prestazionali (resistenza meccanica e termica), conformi alla normativa vigente.

Infine, i monitoraggi hanno lo scopo di valutare una possibile marcatura del prodotto per l'impiego nel mercato edilizio.



PARTE I

ELEMENTI DI INVOLUCRO E SOTTOPRODOTTI DI ORIGINE VEGETALE

Fonte: <https://realfarmacy.com/first-major-hemp-crop-in-60-years-is-planted-in-southeast-colorado>

STATO DELL'ARTE



Fonte: <http://www.agriland.ie/farming-news/spring-barley-area-to-decline-further-in-2016/>



Fonte: <https://pt.depositphotos.com/59072615/stock-photo-cracked-ground.html>



1.1 ANALISI DEL SISTEMA KLIMA SISMICO

Come anticipato nella premessa, il progetto ECOFFI (Ecological Concrete Filled Fibers) si è posto l'obiettivo di realizzare un blocco con funzione di chiusura verticale¹ ad elevate prestazioni meccaniche, termiche e ambientali, con l'impiego di residui della produzione agricola piemontese, in sostituzione dei componenti del sistema costruttivo a telaio "Kilma Sismico"², che è stato brevettato dall'azienda Sarotto s.r.l. Il progetto ha previsto la collaborazione della multinazionale francese Vicat Group, fornitore del legante (Prompt), che ha sviluppato il "Biosys" (si veda pag. 34-35), un blocco in cemento naturale e canapulo. Quest'ultimo è stato il prodotto di riferimento su cui impostare i requisiti prestazionali del nostro prototipo. In questa fase dello studio sono stati analizzati: i componenti tecnologici, il reperimento delle materie prime, le prestazioni e le modalità di posa in opera della parete prefabbricata in calcestruzzo³ "Kilma Sismico", che permette di costruire edifici pluripiano con costi e tempi ridotti. Tuttavia, l'impiego del polistirene espanso sinterizzato (EPS), come elemento di alleggerimento e isolante, non conferisce a questo sistema delle caratteristiche ecologiche.

1.1.1 MATERIALI E COMPONENTI

Nella sezione tecnologica (fig.1.1) e nello spaccato assonometrico (fig.1.2) sono stati illustrati gli elementi che costituiscono la parete sandwich di dimensioni 500x290x32 cm:

- a)** rivestimento esterno in intonaco fibrorinforzato 1,5 cm;
- b)** strato coibente in EPS 6cm;
- c)** Pelle esterna " S32 modul 5 " (6 cm), costituita da una miscela di cemento Portland, inerte fine, fibre polimeriche strutturali (4,2cm) e granuli in EPS vergine o macinato per dare al calcestruzzo una densità di 1500 kg/m³;
- d)** strato coibente in EPS, interposto tra il pannello esterno e il pannello interno (densità 20 kg/m³). Per garantire il taglio termico, l'isolante si estende su tutta la superficie della parete, con un giunto massimo tra le lastre di 1 cm;
- e)** monotraliccio di altezza 23 cm, in

1_ In ottemperanza alla Norma UNI 8290-1981+A122:1983 l'edificio è suddiviso in: classi di unità tecnologiche, unità tecnologiche ed elementi tecnici.

2_ Il muro di tamponamento S32 MODUL 5, connesso al pilastro con getto in opera, garantisce un' unione antisismica grazie a una connessione elastica (EPS) in grado di assorbire le sollecitazioni sismiche e assicurare un alto grado di solidità.

3_ In ottemperanza alla Norma UNI EN 14992:2007+A1:2012, gli elementi da parete prefabbricati realizzati in: calcestruzzo normale, alleggerito o rinforzato con fibre e con struttura chiusa devono essere progettati in base a delle linee guida contenute nella normativa.

acciaio zincato, disposto nel senso verticale alla parete.

Il passo non deve superare gli 80 cm, al fine di creare la connessione tra la lastra interna ed esterna e garantire il taglio termico. I monotralicci sono collegati da armature trasversali (\varnothing 8 mm);

f) armature di rinforzo a C (\varnothing 8/15 mm) poste verticalmente sui lati terminali, per rinforzare le estremità della chiusura verticale e garantire la resistenza alle sollecitazioni sismiche;

g) giunto in EPS sagomato per correggere il ponte termico e migliorare l'assorbimento delle sollecitazioni sismiche tra la struttura portante e la parete;

h) Pelle interna "S32 Modul 5" (4/8 cm) in calcestruzzo naturale Prompt di Vicat. La superficie interna del pannello è a rilievi, al fine di predisporre il passaggio degli impianti: con passo di 10 cm sul piano verticale, di 53 cm (altezza presa) e 138 cm (altezza interruttore) sul piano orizzontale.

La superficie a rilievi offre la possibilità di realizzare gli impianti senza l'esecuzione di tracce;

i) basso rilievo per alloggiare l'isolante e

correggere il ponte termico tra la soletta e la parete (4 cm).

j) lastra coibente in Styrodur gofrato per rivestire la faccia interna (4cm) ed esterna (3cm) del pilastro;

k) Pannello in cartongesso, come finitura della facciata interna;

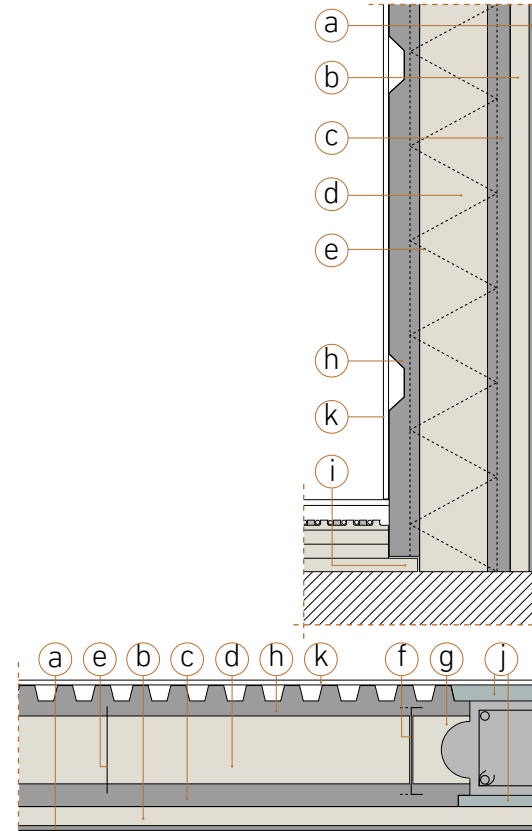


Fig. 1.1 Sezione tecnologica 1:20

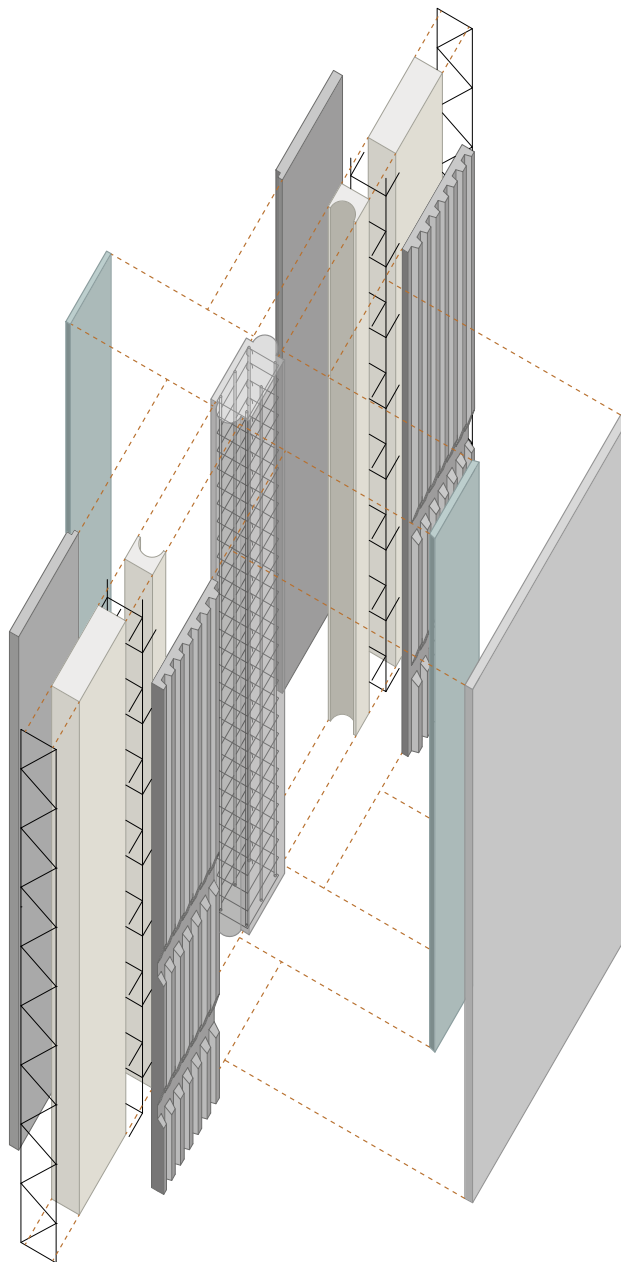


Fig. 1.2 Esploso assometrico

1.1.2 REPERIMENTO DELLE MATERIE PRIME

Il principio di “filiera corta” è alla base della politica aziendale di Sarotto s.r.l.

Sebbene il legante naturale Prompt, gli additivi superfluidificanti e le fibre polimeriche strutturali provengano da fornitori distanti più di 100 km, i prodotti principali e i semilavorati sono reperiti nelle vicinanze della sede produttiva.

I materiali utilizzati per confezionare le murature “S32modul5”, con le relative distanze, in linea d’aria, da Narzole (CN), sono:

- Inerti (sabbione e ghiaietta), cava ELI di Salmour (5,7 km);
- monotralicci ed elementi a C in ferro zincato, centro di trasformazione Retifer di Centallo (24 km).
- Cemento Portland 42,5, cementeria Buzzi Unicem di Robilante (42,8 km);
- Legante naturale Prompt, cementeria Vicat di Grenoble (182 Km);
- Pannelli di Polistirene sagomato, azienda Olivero di Sommariva del Bosco (21,3 km);
- Polistirolo in granuli, materiale riciclato, ottenuto dalla macinazione di scarti propri e da altri fornitori locali;
- additivi superfluidificanti ed aeranti,

azienda Sika di Calusco d’Adda (177 km);

- fibre polimeriche strutturali, Mapei di Robbiano (147km).

L’attuale sistema produttivo prevede l’utilizzo di energia elettrica autoprodotta da fonti rinnovabili (pannelli fotovoltaici integrati sulla copertura per un totale di 92 Kw). Il polistirene riciclato, utilizzato per l’alleggerimento delle murature prefabbricate “S32modul5”, deriva dagli scarti dello stabilimento produttivo e dai cantieri esterni (imprese edili, mobiliari, idraulici, ecc). Il materiale, raccolto in big bag, selezionato, macinato in granuli ed insilato, influisce poco rispetto al peso del prodotto finito (i granuli in polistirene hanno un basso peso specifico a fronte di un volume del 35% circa).

1.1.3 CEMENTO PROMPT

Per fare un breve excursus storico sul cemento naturale bisogna arrivare fino alla fine del XVII secolo, quando in Inghilterra J.Parker ha brevettato un legante attraverso la cottura a basse temperature di un calcare impuro (septaria) macinando la pietra cotta. Date le caratteristiche simili al mix calce e pozzolana, risalente all'epoca romana, il "cemento naturale rapido" ha preso il nome improprio di "cemento romano" diffondendosi in tutta Europa⁴.

Nelle cave della Perelle, da più di un secolo, si estrae un calcare argilloso che, trasportato nell'impianto di Voreppe, viene frantumato in granuli con dimensioni massime di 150 mm, mescolato con il carbone, cotto in forni tradizionali verticali e macinato.

I fattori che influenzano la temperatura di cottura (500-1200 °C) sono legate a:

- Correnti d'aria dei forni che variano in funzione della granulometria;
- ripartizione eterogenea del carbone può fondere parzialmente il clincker;
- materie organiche contenute nella pietra calcarea rilasciano calore a seguito della calcinazione.

Nella fase successiva, si presentano tre composti differenti:

- parte del materiale risulta disidratato ed è considerato non cotto;
- la parte cotta si cristallizza formando gli alluminati⁵ e la belite;
- la porzione di materiale vicina al fuoco si fonde parzialmente intorno a 1200 °C sprigionando delle dosi minime di alite⁶.

La differenza tra questo legante e la calce idraulica risiede nell'idratazione, poiché quello di Vicat non subisce lo spegnimento⁷ dopo la cottura, inoltre la macinazione in un mulino a sfere permette di ottenere un prodotto più fine rispetto ai cementi presenti sul mercato. Dal confronto delle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto, nelle fasi di reperimento delle materie prime, trasporto e produzione, si osserva che i valori di EE (3,55 MJ/kg) ed EC (0,57 kgCO₂/kg) del legante Prompt siano inferiori rispetto ai valori di EE (5,31 MJ/kg) ed EC (0,83 kgCO₂/kg) del cemento Portland⁸.

4_ <http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/5492>.

5_ In questa fase si formano: l'alluminato tricalcico, il ferralluminato tetracalcico ed altri alluminati che concorrono ad una presa e un indurimento nelle fasi iniziali.

6_ Il silicato tricalcico (alite) e il silicato bicalcico (belite) sono costituenti idraulici che forniscono la resistenza meccanica all'impasto cementizio nelle fasi finali.

7_ Per eliminare l'acidità, la calce viva necessita di acqua. La reazione chimica scaturita con l'ossido di calcio (CaO) forma l'idrossido di calcio (Ca(OH)₂) da cui ha origine la calce spenta.

8_ I dati ambientali del cemento Portland (CEM II/A-LL 42,5 R) sono reperiti sull'EPD della Buzzi UNICEM, riferiti alla cementeria di Robilante (CN).

L'elevato impatto ambientale dei cementi artificiali scaturisce dalle temperature di cottura maggiori (1300-1450 °C) rispetto al Prompt.

Le peculiarità di quest'ultimo sono legate alla velocità di presa (2 minuti alla temperatura di 20 °C) e alla presenza di silicati di calcio (tab.1) che contribuiscono: ad idratare il cemento, a rigenerare l'impasto dalle fessure formate nella fase iniziale e ad aumentare lentamente le resistenze meccaniche nel tempo (mesi/anni)⁹, sebbene questo dipenda anche dal rapporto acqua/cemento (a/c).

In caso di valori di a/c inferiori a 0,5 si evidenzia un' alta resistenza iniziale e una bassa porosità, simile ai cementi artificiali Portland, mentre i rapporti a/c superiori a 0,5 comportano una diminuzione delle resistenze meccaniche e aumentano la porosità del materiale che assume caratteristiche simili alle calce idrauliche naturali¹⁰.

Il Prompt di Vicat è impiegato nel restauro, in lavori idraulici anche a contatto con acqua di mare, per la riparazione di calcestruzzi e

in bioedilizia mescolato con fibre di canapa, per la realizzazione di: massetti per solai, getti in opera per murature con struttura portante lignea, strati isolanti per tetti e blocchi prefabbricati ¹¹ (CV_PPV_4 pag.36).

Minerali	Percentuale
Silicato tricalcico (C ₃ S)	5-15 %
Silicato bicalcico (C ₂ S)	40-60 %
Alluminato tricalcico (C ₃ A)	6±2 %
Ferroalluminato tetracalcico (C ₄ AF)	9±2 %
Epta-alluminato dodecocalico (C ₁₂ A ₇)	3±1 %
Calcio solfoalluminato (C ₄ A ₃ S)	3±1 %
Periclasio (MgO)	4±1 %
Itrato di calcio (Ca(OH) ₂)	2±2 %
Calcite (CaCO ₃)	10-15 %
Solfite (SO ₃ ²⁻)	3±1 %
Altri che danno fasi amorfe	10-15 %

Tab. 1 Composizione mineralogica del cemento Prompt
(Fonte: <http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/6272>).

9_ <http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/5372>.

10_ <http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/6272>

11_ <http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/895>

1.1.4 PRESTAZIONI “KLIMA SISMICO”

I muri “S32 Modul 5” hanno ricevuto la conformità alla norma UNI EN 14992:2007 + A1:2012¹², per elementi prefabbricati da parete, realizzati con calcestruzzo normale o alleggerito con struttura densa. È stato previsto l'utilizzo di calcestruzzo rinforzato con fibre (metalliche, polimeriche o di altra natura certificata da standard europeo).

Al fine di rilasciare il certificato di conformità, è stata effettuata un'ispezione all'interno dello stabilimento di produzione, integrando un monitoraggio delle diverse fasi di lavorazione. Nella tabella (tab. 2) sono stati evidenziati i requisiti necessari alla marchiatura CE, con le relative prestazioni della parete.

Requisito	Prestazione		
Resistenza a compressione	15 N/mm ²		
Resistenza a trazione	450 N/mm ²		
Resistenza meccanica	N.d.		
Resistenza al fuoco ¹³	Irrilevante		
Isolamento acustico	46 dB		
Trasmittanza termica U ¹⁴	0,235 W/m ² K		
Durabilità ¹⁵	XC 1		
Dettagli (cm)	L	H	S
	50	50	32
	500	290	32

Tab. 2 Prestazioni della parete “S32 Modul 5”.

12_ La norma UNI-EN 14992:2007 + A1:2012, riguarda elementi prefabbricati in calcestruzzo, classificandone la tipologia (“parete esterna o no, funzione di facciata o no e funzione combinata) specificandone inoltre le funzioni.

A seconda della tipologia di appartenenza la norma impone delle clausole di requisito che l'elemento tecnico deve rispettare, in particolare nella soluzione tecnica di Sarotto s.r.l. devono essere testati i seguenti parametri: informazioni dimensionali, resistenza alla compressione (cemento), resistenza alla trazione (acciaio), resistenza meccanica, isolamento acustico, trasmittanza termica, permeabilità al vapore, durabilità e resistenza al fuoco. Quest'ultimo, nel caso vi siano inclusi materiali combustibili (es. isolanti nelle pareti sandwich), devono essere protetti dall'esposizione al fuoco secondo le regolamentazioni nazionali. Se tutte le clausole vengono rispettate è possibile procedere alla marchiatura CE dell'elemento tecnico.

13_ In ottemperanza al DM 16/02/2007, Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione.

14_ Proprietà di resistenza termica in regime stazionario con il metodo della

doppia camera calibrata e della doppia camera con anello di guardia secondo la norma UNI EN ISO 8990:1999 di pareti prefabbricate, effettuate all'Istituto Giordano, rapporto di prova n°331519. L'attrezzatura utilizzata per eseguire la prova è una camera calda guardiata, avente area di misura pari a 1,52 m × 1,52 m e superfici con emissività pari a 0,93, conforme alla norma UNI EN ISO 8990. Prima di procedere all'esecuzione della prova, l'elemento tecnico è stato essiccato alla temperatura di 65 °C per un periodo di 49 giorni.

La trasmittanza termica (U) è stata calcolata secondo la norma UNI EN ISO 6946:2008 “Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo”: $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ e $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

15_ In ottemperanza alla norma UNI-EN 206-1, descrizione dell'ambiente, delle classi di esposizione, dei valori minimi di Rck e valori massimi del rapporto a/c. I muri “S32 Modul 5” rientrano nella sezione “Corrosione indotta da carbonatazione”, nella classe di esposizione XC 1, a cui corrisponde un ambiente secco o permanentemente acquoso.

1.1.5 POSA IN OPERA

I muri "S32 Modul 5" sono posizionati in cantiere con camion gru e sollevati (fig. 1.3) tramite ganci in ferro annessi nel calcestruzzo (\varnothing 14 mm), su soletta o platea, per garantire la stabilità transitoria sono applicati puntelli tira/spingi ancorati alla base ed all'elemento tramite tasselli. La soletta è predisposta con le opportune chiamate in ferro per i pilastri (alle estremità di ogni parete).

I pilastri realizzati in opera hanno uno spessore di 25 cm e una larghezza \leq 40 cm, con un'armatura variabile.

Per contenere i ponti termici, nell'intradosso ed estradosso del pilastro, sono posizionate in opera due lastre coibenti in Styrodur di 4 cm e 3 cm.

La casseratura è eseguita con la messa in opera di pannelli in legno trattenuti da staffe e tiranti in ferro, bloccati da morsetti. Nella parte superiore della parete al fine di contenere il ponte termico del solaio è posata un'ulteriore lastra coibente in Styrodur di 3 cm. In seguito all'assemblaggio (fig. 1.4) si procede alla finitura della pelle esterna con intonaco e al fissaggio del tamponamento in cartongesso nella porzione interna.



Fig. 1.3 Posizionamento della parete "S32 Modul 5".



Fig. 1.4 Assemblaggio.

1.2 DEFINIZIONE E REQUISITI GENERALI DEL BLOCCO ECOFFI

Nella prima fase del lavoro sono state verificate le informazioni relative alla normativa vigente e definiti i requisiti prestazionali che ECOFFI deve soddisfare, successivamente lo stato dell'arte si è focalizzato sul processo conoscitivo dei sistemi tecnologici presenti sul mercato: pareti perimetrali verticali, elementi di partizione ed isolanti, su cui confrontare i risultati della fase sperimentale.

Sebbene, l'idea iniziale prevedesse la sostituzione di un singolo elemento del sistema costruttivo "Klima Sismico" (isolante in EPS), le esigenze della committenza hanno orientato le nostre scelte sulla realizzazione di un blocco non portante, con funzione di chiusura verticale e di isolante.

Al fine di ottenere la marcatura CE¹⁶, l'ambito normativo di riferimento del prodotto è la UNI EN 771-3 del 2015¹⁷, riferita agli "Elementi di calcestruzzo vibrocompresso". Per ottenere la conformità del blocco, si devono dichiarare i seguenti requisiti prestazionali:

- *Dimensioni;*
- *Planarità delle facce base;*

- *Parallelismo nel piano delle facce base;*
- *configurazione e aspetto;*
- *massa volumica;*
- *resistenza meccanica;*
- *assorbimento di acqua per capillarità;*
- *spostamento dovuto all'umidità;*
- *reazione al fuoco;*
- *proprietà termiche;*
- *permeabilità al vapore acqueo;*
- *aderenza al taglio;*
- *Aderenza a flessione.*

Nonostante la normativa abbia fornito le caratteristiche essenziali, non ha imposto dei valori da rispettare, ad eccezione della classe di reazione al fuoco (compresa tra A1-F). Per la determinazione dei parametri sopraelencati, un fabbricante può tenere in considerazione risultati già esistenti, se un prodotto segue lo stesso progetto, utilizza materie prime simili ed è realizzato con metodi di produzione dello stesso tipo (sez.

16_ Marcatura obbligatoria per i prodotti da costruzione che devono essere conformi ai requisiti essenziali, in materia di: sicurezza, sanità pubblica, tutela del consumatore, tramite una dichiarazione di prestazione DOP.

17_ "La norma specifica le caratteristiche e i requisiti prestazionali degli elementi per muratura di calcestruzzo vibrocompresso realizzati con aggregati pesanti e leggeri oppure da una loro combinazione, per i quali i principali impieghi previsti sono murature di edifici o di opere di ingegneria civile, con o senza capacità portante"

8.2- "determinazione del prodotto tipo").

In virtù di queste considerazioni, sono state prese come riferimento le performance di prodotti presenti sul mercato (schede pag.28-53) ed è stata consultata la letteratura.

Ad esempio, la resistenza a compressione (f_b) dell'Ecoblocco Prespaglia (scheda prodotto CV_PPV_1), è compresa tra 0,33 e 0,44 N/mm², mentre per i prodotti realizzati con leganti naturali e canapa i valori si attestano da 0,25 a 1,15 N/mm² (Cerezo, V., 2005). Tuttavia, in Francia, per i conglomerati cementizi in canapa sono state redatte delle regole professionali di costruzione (*"Protocoles d'essais pour la mesure des performances seuils des bétons de chanvre"*)¹⁸ che impongono un valore di resistenza a compressione > 0,2 MPa per elementi murari (Construire en Chanvre, 2007). Nel caso di miscele col cemento Prompt (paragrafo 1.1.3), le prestazioni meccaniche sono garantite da fibre di canapa (canapulo) con lunghezza massima di 2 cm, sebbene le performance dipendano dal dosaggio di legante (Nozahic, V., 2012). Per determinare le prestazioni acustiche, la legge di riferimento è la UNI EN ISO 11654:1998 che valuta l'assorbimento acustico (α), con una differenza ammissibile

tra 0 (riflessione) e 1 (assorbimento). Si precisa che questo valore non è sufficiente per valutare la qualità acustica di un ambiente, poiché la legge di riferimento è il D.P.C.M. 5/12/97¹⁹. Gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso a cui è associato il valore limite di isolamento acustico standardizzato di facciata ($D2_{m,nT,w}$) espresso in Decibel (dB). Tuttavia, è difficile determinare questo parametro, perché bisogna valutare anche la presenza dell'involucro trasparente e le caratteristiche costruttive del manufatto. Inoltre, ai fini ergonomici e della movimentazione, come prescritto nella ISO 11228, l'elemento dovrà possedere delle impugnature che consentano una facile presa e non dovrà superare i 25 kg, per evitare danni al tratto dorso-lombare del lavoratore. Nella pagina seguente (tab.3) sono state riportate le caratteristiche essenziali, la normativa sui metodi di prova e gli obiettivi che si prefigge di raggiungere, il blocco ECOFFI nel lavoro di tesi.

18_ I protocolli forniscono le linee guida per le metodologie di prova sulle prestazioni meccaniche e termiche dei conglomerati in cemento e canapa. I test devono essere effettuati in laboratori certificati dall'associazione "Construire en Chanvre".

19_ Attuativo dell'art. 3 comma 1, lettera e), della legge n. 447/1995, quadro normativo sull'inquinamento acustico. Il Decreto precisa i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici e i requisiti acustici passivi di componenti e edifici.

Tabella 3. Elenco dei parametri che il blocco ECOFFI deve soddisfare.

Caratteristiche essenziali (UNI EN 771-3)	Metodo di prova e calcolo	Periodo di prova	Obiettivo
Dimensioni	UNI EN 772-16	da definire	da definire
Planarità delle facce base	UNI EN 772-20	da definire	da definire
Parallelismo nel piano delle facce base	UNI EN 772-16	da definire	da definire
Configurazione e aspetto	UNI EN 772-16, UNI EN 772-2, UNI EN 772-20	da definire	da definire
Massa volumica	EN 772-13	in fase sperimentale	< 800 kg/m ³
Resistenza meccanica	UNI EN 772-1, UNI EN 772-6	in fase sperimentale	> 0,2 Mpa
Assorbimento di acqua per capillarità	UNI EN 772-11	da definire	da definire
Spostamento dovuto all'umidità	EN 772-14	da definire	da definire
Reazione al fuoco	UNI EN 13501-1	da definire	da definire
Proprietà termiche	UNI EN 12664 e UNI EN 12667	in fase sperimentale	0,26 W/m ² K
Permeabilità al vapore acqueo	UNI EN ISO 12572	da definire	da definire
Aderenza al taglio	UNI EN 1052-3	da definire	da definire
Aderenza a flessione	UNI EN 1052-2	da definire	da definire

Assorbimento acustico	UNI EN ISO 11654	da definire	da definire
Ergonomia-movimentazione manuale	ISO 11228	da definire	da definire
Dichiarazione ambientale di prodotto (EPD)	UNI EN ISO 14025	da definire	da definire

1.3 ANALISI DI ANTERIORITÀ

Prima di procedere alla selezione dei sottoprodotti che sono stati utilizzati per realizzare il blocco ECOFFI, è stato necessario approfondire le conoscenze sui componenti edilizi che utilizzano residui agricoli o vegetali.

In primo luogo si sono effettuate ricerche su *"Orbit"* (www.orbit.com) per verificare se siano depositati dei brevetti, tuttavia l'indagine non ha prodotto alcun risultato. Successivamente è stata utilizzata una diversa piattaforma, *"ScienceDirect"* (www.sciencedirect.com) che ha consentito di visionare sperimentazioni e pubblicazioni nel panorama mondiale. Per effettuare la ricerca sul sito sono state utilizzate le seguenti parole chiave (*"keywords"*): *"vegetable waste concrete"*, *"green concrete"*, *"natural concrete"*, *"agricultural waste concrete"*, *"straw insulation"*, *"straw concrete"*, *"corn cob concrete"*, *"agricultural waste architecture"*, *"agricultural block"*, *"wall prefabricated concrete"*, *"rice insulation"*, *"natural fiber insulation"*, *"corn cob insulation"*.

Lo studio ha individuato 3 ricerche sul reimpiego dei residui colturali del mais in ambito edilizio, che vale la pena citare:

- *"Corn cob lightweight concrete for non-structural applications"* Pinto, J., Vieira, B., Pereira, H., et al., Portogallo, 2011;
- *"Lightweight concrete masonry units based on processed granulate of corn cob as aggregate"* Faustino, J., Silva, E., Pinto, J., et al., Portogallo, 2014;
- *"An integrated design approach to the development of a vegetable-based thermal plaster for the energy retrofit of buildings"* Carbonaro, C., Tedesco, S., Serra, V., et al., Politecnico Di Torino, 2010-2013;

Il primo articolo ha studiato le caratteristiche del tutolo di mais (con pezzatura > 3 cm) come aggregato nell'impasto cementizio (cemento Portland), per la realizzazione di calcestruzzi alleggeriti con funzione isolante per solai. La sperimentazione ha utilizzato come confronto un prodotto composto da cemento ed argilla espansa. I mix design più interessanti hanno un rapporto di peso di 6:1:1 (aggregato : cemento : acqua) e una densità media di 382,2 kg/m³ (alleggeriti con tutolo di mais) e di 576,3 kg/m³ (alleggeriti con argilla espansa).

Pinto et al. (2011) hanno osservato che le

performance termiche calcolate in situ secondo la norma ISO 9869:1994, del primo provino ($U_{ntotal} = 1,99 \text{ W/m}^2\text{K}$) siano state migliori rispetto al secondo ($U_{ntotal} = 2,72 \text{ W/m}^2\text{K}$), tuttavia il comportamento meccanico del campione in tutolo ($f_b = 0,12 \text{ MPa}$) è risultato peggiore di quello alleggerito con l'argilla espansa ($f_b = 1,36 \text{ MPa}$).

Infine, gli autori hanno affermato che per migliorare la resistenza meccanica del calcestruzzo, sia stato necessario modificare la granulometria ed il rapporto tra i componenti.

La seconda ricerca, ha recepito i dati di quella precedente e valutato le potenzialità del tutolo come aggregato per la realizzazione di blocchi cassero alleggeriti per pareti perimetrali verticali e partizioni interne. Nell'impasto sono stati aggiunti altri aggregati quali: sabbia media, sabbia grossa e ghiaia.

Anche in questo caso, è stato proposto il confronto tra conglomerati alleggeriti in tutolo di mais ed argilla espansa, inoltre la granulometria del residuo agricolo ha una pezzatura inferiore a 0,5 cm.

I prototipi, di dimensioni 50x20x20 cm, hanno rispettivamente una densità media

di 1.681 kg/m^3 (impasto con tutolo di mais) e 1.364 kg/m^3 (impasto con argilla espansa). È stato osservato che, rispetto ai campioni precedenti, la diminuzione granulometrica del residuo vegetale e l'aggiunta di ulteriori componenti, ha determinato un aumento della massa volumica del blocco in tutolo rispetto a quello in argilla espansa.

Si precisa che, una maggiore densità del primo campione non ha comportato migliori prestazioni meccaniche rispetto al secondo, poiché la resistenza a compressione media del provino col tutolo (2,17 MPa) è stata inferiore a quella in argilla espansa (4,15 MPa).

Faustino et al. (2014) hanno sostenuto che per limitare l'assorbimento di acqua da parte dello scarto agricolo sia stato necessario preparare prima l'impasto acqua-cemento e mescolarlo successivamente con l'aggregato.

Infine, sono stati effettuati i test in camera climatica in condizioni termo-igrometriche aggressive ed è stato dimostrato che non sussiste nessun deterioramento del materiale alle variazioni di temperatura e umidità.

L'ultimo rapporto ha coinvolto il gruppo

di ricerca di tecnologia e fisica tecnica del Politecnico di Torino nell'ambito dello sviluppo di due termointonaci a base vegetale (il sughero dei tappi di bottiglia e il tutolo di mais) per il retrofit energetico di edifici esistenti.

Il progetto ha messo a confronto i prodotti a base vegetale con due materiali già sviluppati dalla Vimark: "Thermointonaco" (calce idraulica, cemento Portland, EPS e additivi) e "Thermocalce" (calce idraulica, cemento Portland, perlite espansa e additivi).

Dall'analisi termica condotta si è osservato che l'impasto con il tutolo ($\lambda_{eq} = 0,086 \text{ W/mK}$) sia performante come quello in EPS ($\lambda_{eq} = 0,087 \text{ W/mK}$).

Sebbene il prodotto realizzato con il sughero ($\lambda_{eq} = 0,104 \text{ W/mK}$) risulti migliore rispetto al "Thermocalce" ($\lambda_{eq} = 0,148 \text{ W/mK}$) non ha raggiunto le stesse prestazioni dei primi due.

Inoltre, dagli studi che sono stati effettuati sul ciclo di vita dei prodotti seguendo la metodologia "*Life Cycle Assessment*" (LCA²⁰), Carbonaro et al. (2010-2013) hanno affermato che, in fase di reperimento delle materie prime (Raw Material, step A1²¹), l'EPS risulta uno dei componenti peggiori

in termini ambientali, perché deriva da fonti non rinnovabili. Per 1 kg di prodotto sono stati stimati valori di Embodied Energy pari a 30 kWh/kg e per l'Embodied Carbon superiori a 4 kgCO₂eq/kg. Infine, considerando la bassa densità dell'EPS, nella fase di produzione (step A3), i valori di EE (2,99 kWh/kg) ed EC (0,854 kgCO₂eq/kg) sono equiparabili a quelli del termointonaco con tutolo (EE = 2,95 kWh/kg; EC = 0,881 kgCO₂eq/kg).

Dopo aver analizzato le ricerche su "*ScienceDirect*" è stato utilizzato il database "*MATREC*" (www.matrec.com), messo a disposizione dal Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino.

La banca dati ha permesso di effettuare specifiche ricerche su materiali innovativi e circolari, evidenziando aspetti energetici (Embodied Energy) ed ambientali (Embodied

20_ Per LCA si intende una metodologia che permette di quantificare i consumi energetici, i materiali usati e i rilasci ambientali, legati ad un prodotto lungo una fase o tutto su tutto il ciclo di vita. L'analisi LCA è standardizzata a livello internazionale attraverso la norma UNI EN ISO 14040:2006, in cui sono dettate le linee guida delle 4 fasi della metodologia: 1) *definizione degli scopi e degli obbiettivi*; 2) *analisi d'inventario*; 3) *analisi degli impatti*; 4) *interpretazione e miglioramento*.

21_ Le fasi del ciclo di vita di un prodotto sono le seguenti: reperimento materie prime (A1); trasporto in fabbrica (A2); produzione (A3); trasporto in cantiere (A4); installazione (A5); fase di utilizzazione (B1-B7); fine vita (C1-C4); carichi e benefici oltre il confine di sistema (D).

Carbon ed indicatori di riciclabilità). Tramite questa indagine è stato possibile realizzare delle schede prodotto di componenti disponibili sul mercato (limitato all'Unione Europea).

Ogni materiale descritto è stato suddiviso in "famiglie" di elementi tecnici, come specificato dalla norma UNI 8290 "Classificazione del sistema tecnologico", a cui è stato associato un codice identificativo:

- Chiusura Verticale_Parete Perimetrale Verticale (CV_PPV_n°);
- Partizione Interna_Verticale/Orizzontale (PI_VO_n°);
- Isolante_Verticale/Orizzontale (I_VO_n°).

Sono stati indicati il produttore ed il luogo di confezionamento, inoltre tramite QR-code è possibile accedere alla pagina web dedicata. La prima parte ha analizzato le caratteristiche fisico-tecniche dell'elemento, fondamentali per comparare i risultati ottenuti nella successiva fase sperimentale del blocco ECOFFI.

Nella seconda parte sono stati classificati i materiali che compongono l'elemento tecnico: materie prime, materie prime seconda e sottoprodotti in base alla norma 2008/98/CE. Queste informazioni non

sono esplicitate dai produttori, ma sono necessarie per delineare la circolarità del prodotto e il consumo di risorse.

Consecutivamente, sono state elaborate le caratteristiche energetico-ambientali in ottica Life Cycle Assessment; identificando il valore di Embodied Energy (EE), cioè l'energia incorporata che un determinato materiale ha accumulato durante tutti i processi, dall'estrazione delle materie prime fino al confezionamento del prodotto e l'Embodied Carbon (EC), ovvero il carico di CO₂ incorporata a seguito dei processi di lavorazione; tuttavia, i prodotti vegetali hanno valori di EC bassi o addirittura negativi, in seguito alla capacità delle piante di assorbire l'anidride carbonica per svolgere le attività di fotosintesi.

Al fine di confrontare i materiali, l'EE e l'EC (presenti sulle schede) sono riferiti alla fase di Raw Material. Tali valori sono stati reperiti sull'EPD (Environmental Product Declaration²²) fornito dal produttore;

22_ La Dichiarazione Ambientale di Prodotto diffusa a livello internazionale come *International EPD® System*, si inserisce nelle etichette ecologiche di tipo III ("dichiarative"). Le suddette etichette sono contenute nella norma ISO 14025:2010 che fornisce un'efficace supporto informativo sulle performance ambientali del prodotto. Al fine di ottenere la dichiarazione è necessario intraprendere 3 step: 1) *Definizione dei Product Category Rules*; 2) *Studio LCA*; 3) *Redazione dell'EPD*, bisogna precisare che il marchio ha valore per 2 anni. (R.Giordano, 2010).

sebbene, nella maggior parte dei casi, gli indicatori siano stati elaborati tramite banche dati (Inventory of Carbon & Energy - ICE) o software (Cambridge Engineering Selector - CES).

Per ricavare i valori di 1 kg di prodotto è stato necessario conoscere la composizione in percentuale (%) del manufatto, mentre per definire il parametro energetico di 1 m² di parete è stata utilizzata la seguente formula (es. EE):

$$EE (1 m^2) = Densità \times Spessore = kg/m^2 \times EE \text{ di } 1 \text{ kg di prodotto } (MJ/kg) = MJ/m^2$$

La sezione successiva delle schede ha analizzato le modalità di posa in opera dei sistemi a umido o a secco.

Dalla comparazione dei dati sulla densità, trasmittanza termica e del sistema costruttivo, sono stati presi come modello di riferimento ("benchmark"), l'Ecoblocco Prespaglia e il Biosys, anziché il Durisol e l'Isotex. I primi sono elementi di tamponamento accostati ad una struttura portante versatile (cemento, acciaio e legno) e sfruttano l'incastro "maschio-femmina", che riduce il ponte termico in prossimità dei giunti. I secondi sono delle pareti strutturali assemblate ad umido, con

getto di cemento all'interno dei casseri che necessitano del supporto di un isolante per rispettare le prestazioni termiche.

Per rispondere ai requisiti imposti dal D.lgs. 26 Giugno 2015 sulle prestazioni energetiche è stata realizzata un apposita sezione in cui sono interpolati i dati di trasmittanza termica U (W/m²K) dell'elemento tecnico con i valori limite delle strutture opache verticali, verso l'esterno, in relazione alle zone climatiche (riferiti al 2021); il Piemonte e la regione Rhône Alpes hanno 2 fasce climatiche di appartenenza E (2.100 - 3000 Gradi Giorno²³) e F (> 3000 GG); questa porzione valuta dove il materiale può essere inserito con o senza l'ausilio di ulteriori sistemi che permettano di incrementare le prestazioni termiche.

In conclusione è stato esaminato il fine vita e smaltimento del prodotto, sviluppando degli indicatori di riciclabilità, predisposti

23_ I Gradi Giorno (GG) permettono di distinguere le diverse fasce climatiche e corrispondono alla somma, riferita a tutti i giorni dell'anno, della differenza (prendendo solo i valori positivi) tra la temperatura dell'ambiente interno e la temperatura media giornaliera esterna. Per convenzione, la temperatura dell'ambiente interno è fissata a 20°C.

Questo comporta che più i valori sono elevati, più le temperature di quell'area saranno rigide, cioè molti giorni all'anno hanno temperature inferiori ai 20°C.

A titolo di esempio sono riportati i GG della città di Torino: 2617 (dato così pubblicato nell'allegato A del D.M. 6 ottobre 1997).

in ordine crescente in termini qualità ambientale (tab. 4), che ha consentito di stabilire le modalità di dismissione del prodotto e il carico ambientale ad esso correlato.

Dal confronto dei "benchmarks" Ecoblocco (CV_PPV_1) e Biosys (CV_PPV_4) è stato evidenziato che le performance termiche siano influenzate dalla densità e dalla composizione dei due elementi; rispetto alla paglia di frumento, l'utilizzo di canapulo (fibra di canapa da 2 cm) ha ridotto la densità, ha aumentato la resistenza meccanica e la trasmittanza termica, a scapito dello sfasamento termico²⁴. Tuttavia, il prodotto è impiegabile in tutte le fasce climatiche. Per quanto riguarda gli aspetti ambientali, il canapulo utilizzato in Francia è una materia prima, poiché prelevato da colture industriali prettamente specifiche per l'approvvigionamento edilizio, mentre Prespaglia si rifornisce di residui

24_ Per sfasamento termico si intende la differenza temporale, tra il momento in cui si rileva la temperatura massima sulla superficie esterna dell'elemento tecnico, e il tempo in cui si identifica il massimo valore nella porzione interna. Normalmente, il valore ideale è di 12 ore o comunque non minore di 8 ore. Ciò permette l'entrata del calore, all'interno delle abitazioni, nelle ore notturne, migliorando il comfort termico estivo e le prestazioni energetiche. Il D.lgs. 26 Giugno 2015, impone che i materiali, costituenti le pareti perimetrali verticali esposte a Sud, Sud/Ovest e Sud/Est, debbano avere massa superficiale superiore a 230 kg/m³ o trasmittanza periodica inferiore a 0,1 W/m²K.

agricoli dalle aziende limitrofe. A seguito della diversa tipologia di legante, i due elementi si distinguono al termine del loro ciclo di vita, poiché l'Ecoblocco è biodegradabile, mentre il blocco di Vicat è smaltito in discarica inerti, usato come sottofondo stradale o alleggerimento nella realizzazione di massetti.

Opzioni del fine vita	Descrizione	Peso ambientale
Discarica rifiuti speciali	Rifiuti speciali provenienti da C&D	<p>Alto</p> <p>Basso</p>
Discarica inerti	Inerti provenienti da C&D	
Incenerimento	Termovalorizzazione dello scarto in energia	
Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Caratteristiche del nuovo prodotto inferiori a quelle iniziali	
Riciclabile con alta capacità prestazionale	Caratteristiche del nuovo prodotto simili a quelle iniziali	
Biodegradabile, compostabile e riutilizzabile	Riuso in soluzioni tecniche identiche	

Tabella 4 Indicatori di riciclabilità (Fonte: Cambridge Engineering Selector - CES).

XXXXXXXXX 1

CARATTERISTICHE GENERALI

2

QR Code

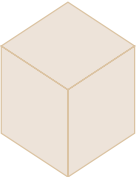
NOME - Produttore, Luogo di produzione

Unità tecnologica: xx
xxxxxxxxx

Caratteristiche dimensionali: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
xxxxxxxxxxxxxxx

Tipologia: xx
xxxxxxxxxxxxxxxxx

Posa in opera: xxx
xxx
xxx
xxx
xxx
xxx
xxx
xxx
xxx



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

Parametro	Unità di misura	Valore

3

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE)

Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto

4

CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI

Spessori dell'elemento tecnico (cm)

Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m²

5

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

Modalità di posa in opera

6

PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)

Zone climatiche (2021)

Edificio di riferimento U(W/m²K)

Ecoblocco U = 0,312 W/m²K

7

FINE VITA E SMALTIMENTO

Indicatore di riciclabilità

8

9

1. Intestazione.

1.1 QR Code della pagina web del produttore.

1.2 Codice di riferimento e classificazione dell'elemento tecnico secondo la Norma UNI 8290 (CV_PPV_N°/PI_VO_N°/I_VO_N°).

2. Caratteristiche generali.

2.1 Nome del prodotto - Casa produttrice, Luogo di produzione.

2.2 Unità tecnologica.

2.3 Caratteristiche dimensionali.

2.4 Posa in opera.

2.5 Immagine del prodotto.

3. Caratteristiche fisico-tecniche.

3.1 Densità (kg/m³).

3.2 Trasmittanza termica (W/m²K).

3.3 Conduttività termica (W/mK).

3.4 Resistenza a compressione (N/mm²)

3.5 Calore specifico (J/kgK).

3.6 Permeabilità al vapore acqueo (kg/smPa).

3.7 Fattore di resistenza al vapore acqueo.

3.8 Isolamento acustico (dB) o Coefficiente di assorbimento acustico (0-1).

3.9 Classe di resistenza al fuoco.

4. Classificazione dei componenti secondo la Direttiva 2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012.

4.1 Componenti:

- 4.1.1 Materie prime.
- 4.1.2 Materie prime seconde.
- 4.1.3 Sottoprodotti.

5. Caratteristiche energetiche-ambientali.

- 5.1 Note: indicazioni sulla provenienza dei dati di Embodied Energy (EE) e Embodied Carbon (EC).
- 5.2 Spessori dell'elemento tecnico per calcolare l'EE e l'EC al m².
- 5.3 Embodied Energy di 1kg di prodotto (MJ/kg).
- 5.4 Embodied Carbon di 1kg di prodotto (kgCO₂/kg).
- 5.5 Embodied Energy di 1m² di prodotto (MJ/m²).
- 5.6 Embodied Carbon di 1m² di prodotto (kgCO₂/m²).

6. Modalità di posa.

- 6.1 Posa in opera con sistema a umido.
- 6.2 Posa in opera con sistema a secco:
 - 6.2.1 Incastro o serraggio.
 - 6.2.2 Accostamento.

7. Prestazioni energetiche secondo il D.lgs. 26 Giugno 2015.

- 7.1 Zone climatiche in cui è suddiviso il territorio italiano.
- 7.2 Valori caratteristici di trasmittanza termica U dell'edificio di riferimento.
- 7.3 Trasmittanza termica U del prodotto analizzato.
- 7.5 Confronto delle prestazioni energetiche dell'elemento tecnico in relazione al sito di produzione e la regione Piemonte - Rhone Alpes.

8. Fine vita e smaltimento.

- 8.1 Indicatore di riciclabilità:
 - 8.1.1 Discarica rifiuti speciali.
 - 8.1.2 Discarica inerti.
 - 8.1.3 Incenerimento.
 - 8.1.4 Riciclabile con bassa capacità prestazionale.
 - 8.1.5 Riciclabile con alta capacità prestazionale.

9. Infografica.

- 9.1 Ecoindicatori:
 - 9.1.1 Realizzato con componenti riciclati.
 - 9.1.2 Il prodotto utilizza materiali provenienti da fonti parzialmente rinnovabili.
 - 9.1.3 Il prodotto utilizza materiali provenienti da fonti 100% rinnovabili.
 - 9.1.4 L'elemento tecnico è riciclabile post consumo.
 - 9.1.5 L'elemento tecnico è biodegradabile post consumo.
 - 9.1.6 L'elemento tecnico è compostabile post consumo.
 - 9.1.7 E' stata rilasciata una dichiarazione ambientale di prodotto (EPD).



CV_PPV_1

CARATTERISTICHE GENERALI

ECOBLOCCO - Prespaglia, Modugno (BA).

Unità tecnologica: pareti perimetrali verticali per edifici intelaiati e partizioni interne orizzontali e verticali.

Caratteristiche dimensionali: mattoni (50x25x10 cm) e blocchi (30x25x30 cm) di forma parallelepipedica.








Tipologia: mattoni e blocchi in paglia, argilla e calce idraulica. Pignatte in paglia e cemento ad alta resistenza.

Posa in opera: sistema di connessione ad incastro "maschio-femmina" con il supporto di colla naturale (1 mm ca.). In questo caso è da considerarsi un sistema a secco.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	554
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	0,312
λ	Conduttività termica	W/mK	0,0823
f_m	Resistenza media a compressione	N/mm ²	0,39
Cs	Calore specifico	J/kgK	970
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	3,22 - 4,94
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	6,1 - 4,8
α	Coefficiente assorbimento acustico	0 - 1	-
-	Classe di resistenza al fuoco	-	A1/A2

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Paglia (40%)			✓			
Argilla (30%)	✓					
Calce idraulica (30%)	✓					
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dai database Inventory of Carbon & Energy (ICE) e Cambridge Engineering Selector (CES). Sono state fornite indicazioni sui materiali che costituiscono il prodotto.			Spessori dell'elemento tecnico (cm)			
			10	30		
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	2,95 MJ/kg*	163,43 MJ/m ² *	490,29 MJ/m ² *			
Embodied Carbon (EC)	0,21 kg CO ₂ /kg*	11,96 kg CO ₂ /m ² *	35,89 kg CO ₂ /m ² *			
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio	Accostamento			
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Ecoblocco U = 0,312 W/m ² K	✓	✓	✗	✗	✗	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



CV_PPV_2

CARATTERISTICHE GENERALI

BLOCCO CASSERO - Isotex, Poviglio (RE).

Unità tecnologica: pareti perimetrali verticali portanti e non portanti, partizioni interne orizzontali e verticali.

Caratteristiche dimensionali: blocchi cassero per pareti perimetrali e partizioni interne (50x38x25 cm) con conformazione ad 'H'. Pannelli pre-assemblati per solai (100x725x20-44 cm) di forma parallelepipedica.








Tipologia: blocchi cassero e pannelli in conglomerato di legno e cemento.

Posa in opera: sistema di posa tra casseri accostati a secco e sfalsati di mezzo blocco; connessione con getto di calcestruzzo negli incavi ogni 5-6 corsi.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	510
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	0,28
λ	Conduttività termica	W/mK	0,104
f_m	Resistenza media a compressione	N/mm ²	0,4
Cs	Calore specifico	J/kgK	970
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	5,9
-	Isolamento acustico	dB	54
-	Classe di resistenza al fuoco	-	B-s1,d0

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Sughero (35%)		✓				
Cemento Portland (65%)	✓					
-	-	-	-			
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database Cambridge Engineering Selector (CES). **Dati elaborati dalla densità e dagli spessori forniti dal produttore.			Spessore dell'elemento tecnico (cm)			
			50			
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	4,8 MJ/kg*	1224 MJ/m ²				
Embodied Carbon (EC)	0,38 kg CO ₂ /kg*	96,9 kg CO ₂ /m ²				
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio		Accostamento		
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Blocco cassero U = 0,28 W/m ² K	✓	✓	✓	✗	✗	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



CV_PPV_3

CARATTERISTICHE GENERALI

DURISOL - Durisol, Newport (UK).

Unità tecnologica: pareti perimetrali verticali portanti e non portanti, partizioni interne verticali.

Caratteristiche dimensionali: blocchi cassero per pareti perimetrali e partizioni interne (50x25x17-36,5 cm).








Tipologia: blocchi in conglomerato di legno e cemento con supporto di isolante termico in lana minerale o in poliisocianurato (PIR).

Posa in opera: casseri accostati a secco e sfalsati di mezzo blocco; connessione con getto di calcestruzzo negli incavi.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	500-600
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	Senza isolante: 0,82-1,12 Con lana di roccia: 0,19-0,27 Con PIR: 0,15-0,23
λ	Conduttività termica	W/mK	0,083
f_m	Resistenza media a compressione	N/mm ²	-
Cs	Calore specifico	J/kgK	1500
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	2,05
-	Isolamento acustico	dB	55-57
-	Classe di resistenza al fuoco	min.	REI 90

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Legno dolce (34-39%)		✓				
Cemento Portland (55-60%)	✓					
Roccia calcarea (0-4%)	✓					
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database MATREC. **Dati elaborati dalla densità (600kg/m ³) e dagli spessori forniti dal produttore.		Spessori dell'elemento tecnico (cm)				
		17	30			
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	31,4 MJ/kg*	3202,8 MJ/m ² **	5652 MJ/m ² **			
Embodied Carbon (EC)	0,2 kg CO ₂ /kg*	20,4 kg CO ₂ /kg**	36 kg CO ₂ /m ² **			
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio	Accostamento			
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Blocco cassero U= 1,12 W/m ² K	✗	✗	✗	✗	✗	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



CV_PPV_4

CARATTERISTICHE GENERALI

BIOSYS - Vicat & Vieille Matériaux, Grenoble (FR).

Unità tecnologica: pareti perimetrali verticali non portanti e partizioni interne verticali.

Caratteristiche dimensionali: blocchi per pareti perimetrali (60x30,8x30 cm).








Tipologia: blocchi isolanti di cemento naturale Prompt e canapulo (fibre derivanti dalla canapa).

Posa in opera: sistema di connessione ad incastro "maschio-femmina" sfalsati di mezzo blocco, senza aggiunta di malta, con il supporto di una struttura lignea, metallica o in cemento armato.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	288
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	0,236
λ	Conduttività termica	W/mK	0,071
f_m	Resistenza media a compressione	N/mm ²	> 0,3
Cs	Calore specifico	J/kgK	1300-1800
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	1 - 4
-	Isolamento acustico	dB	43 (-1;-2)
-	Classe di resistenza al fuoco	-	B-s1,d0

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Canapulo (42%)	✓					
Cemento naturale Prompt (58%)	✓					
-	-	-	-			
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database Cambridge Engineering Selector (CES). **Dati elaborati dalla densità (288kg/m ³) e dagli spessori forniti dal produttore.			Spessori dell'elemento tecnico (cm)			
			30			
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	6,26 MJ/kg*	540,8 MJ/m ² **				
Embodied Carbon (EC)	1 kg CO ₂ /kg*	86,4 kg CO ₂ /m ² **				
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio	Accostamento			
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Blocco Biosys U= 0,236 W/m ² K	✓	✓	✓	✓	✓	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



PI_VO_1

CARATTERISTICHE GENERALI

KARTONSAN 16/22 - Ton Gruppe, Laghetti di Egna (BZ).

Unità tecnologica: partizioni interne verticali e orizzontali.

Caratteristiche dimensionali: lastre per pareti interne divisorie e tamponamento (62,5x125x1,6-2,2 cm).

Tipologia: lastre di forma parallelepipeda in terracuda pressata e rinforzata con paglia, scarti di lavorazione dell'orzo non trattati e rete in juta.








Posa in opera: i pannelli da 16 mm sono avvitati con la pistola a camere su una struttura portante in cemento, mattoni o pannelli OSB in legno truciolare.

I moduli da 22 mm sono fissati su telai metallici o in legno.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	1600
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	-
λ	Conduttività termica	W/mK	0,35
f_m	Resistenza media a compressione	N/mm ²	-
Cs	Calore specifico	J/kgK	1100
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	7,5
-	Isolamento acustico	dB	61-63
-	Classe di resistenza al fuoco	-	A1

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Argilla (80%)	✓					
Paglia			✓			
Amido d'orzo		✓				
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database MATREC. **Dati elaborati dalla densità e dagli spessori forniti dal produttore.		Spessori dell'elemento tecnico (cm)				
		1,6		2,2		
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	3,38 MJ/kg*	86,52 MJ/m ² **		118,98 MJ/m ² **		
Embodied Carbon (EC)	0,06 kg CO ₂ /kg*	1,53 kg CO ₂ /m ² **		2,11 CO ₂ /m ² **		
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio		Accostamento		
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
-	-	-	-	-	-	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



PI_VO_2

CARATTERISTICHE GENERALI

CANAPALITHOS - Cmf Greentech, Cavezzo (MO).

Unità tecnologica: partizioni interne verticali e orizzontali.

Caratteristiche dimensionali: lastre per pareti interne divisorie e controsoffitti (60-189x120-378x1,25-1,8 cm).








Tipologia: lastre di forma parallelepipedica in terracotta pressata e rinforzata con biomassa di canapa unite con legante naturale (Pappa Reale) privo di formaldeide.

Posa in opera: i pannelli possono essere applicati sulla parete con viti ad espansione oppure su struttura metallica o lignea mediante viti o cambre. La rasatura delle fughe tra pannelli può essere eseguita in argilla o calce.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	1100
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	-
λ	Conduttività termica	W/mK	0,197
δ_{10}	Sollecitazione di compressione con deformazione elastica del 10 %	N/mm ²	6,9
Cs	Calore specifico	J/kgK	1175
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	17
-	Isolamento acustico	dB	-
-	Classe di resistenza al fuoco	-	B,s1-d0

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Argilla	✓					
Canapa	✓					
Legante naturale		✓				
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database MATREC. **Dati elaborati dalla densità e dagli spessori forniti dal produttore.		Spessori dell'elemento tecnico (cm)				
		1,25		1,8		
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	1,95 MJ/kg*	26,81 MJ/m ² **		38,61MJ/m ² **		
Embodied Carbon (EC)	0,33 kg CO ₂ /kg*	4,54 kg CO ₂ /m ² **		6,53 kg CO ₂ /m ² **		
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio		Accostamento		
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
-	-	-	-	-	-	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



PI_VO_3

CARATTERISTICHE GENERALI

NOVO BASE - Novofibre, Bavaria (D).

Unità tecnologica: partizioni interne ed esterne verticali e orizzontali.

Caratteristiche dimensionali: lastre per pareti esterne, interne divisorie e controsoffitti (122x244x0,5-1,8 cm).








Tipologia: lastre di forma parallelepipedica in paglia di frumento riciclato pressate con additivi a bassa emissione di TVOC e di formaldeide (classe E1).

Posa in opera: i pannelli possono essere applicati con viti su struttura metallica o lignea, non necessitano di una rifinitura superficiale.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	560-600
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	-
λ	Conduttività termica	W/mK	-
δ_m	Sollecitazione di compressione con deformazione elastica del 10 %	N/mm ²	>0,3
Cs	Calore specifico	J/kgK	-
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	-
α	Coefficiente assorbimento acustico	0-1	0,7
-	Classe di resistenza al fuoco	-	-

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Paglia di frumento (90%)			✓			
Adesivi (10%)	✓					
-	-	-	-			
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database MATREC. **Dati elaborati dalla densità (600kg/m ³) e dagli spessori forniti dal produttore.		Spessori dell'elemento tecnico (cm)				
		0,5		1,8		
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	5,08 MJ/kg*	15,24 MJ/m ² **		54,86 MJ/m ² **		
Embodied Carbon (EC)	0,09 kg CO ₂ /kg*	0,27 kg CO ₂ /m ² **		0,97 kg CO ₂ /m ² **		
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio		Accostamento		
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
-	-	-	-	-	-	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



PI_VO_4

CARATTERISTICHE GENERALI

CELENIT AB - Celenit, Onara di Tombolo (PD).

Unità tecnologica: partizioni interne verticali e orizzontali.

Caratteristiche dimensionali: lastre per pareti interne divisorie, controsoffitti e rivestimenti (60x60-240x1,5-5 cm).








Tipologia: lastre di forma parallelepipedica fonoassorbenti e insensibili all'umidità in lana di legno di abete rosso mineralizzata e legata con cemento Portland bianco ad alta resistenza.

Posa in opera: le lastre possono essere accostate o applicate con viti su struttura metallica o lignea, inoltre non necessitano di una rifinitura superficiale.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	420-567
U	Resistenza termica	W/m ² K	0,2-0,7
λ	Conduttività termica	W/mK	0,07
δ_{10}	Sollecitazione di compressione con deformazione elastica del 10 %	N/mm ²	>0,2
Cs	Calore specifico	J/kgK	1810
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	5
α	Coefficiente assorbimento acustico	0-1	0,3-0,95
-	Classe di resistenza al fuoco	-	B,s1-d0

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Legno di Abete rosso (15% riciclato)	✓	✓				
Cemento Portland	✓					
-	-	-	-			
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database MATREC.			Spessori dell'elemento tecnico (cm)			
**Dati elaborati dalla densità (567kg/m ³ - sp.1,5cm e 420kg/m ³ - sp.5cm) fornita dal produttore.			1,5	5		
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	0,85 MJ/kg*	7,23 MJ/m ^{2**}	17,85 MJ/m ^{2**}			
Embodied Carbon (EC)	0,43 kg CO ₂ /kg*	3,65 kg CO ₂ /m ^{2**}	9,03 kg CO ₂ /m ^{2**}			
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio	Accostamento			
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Pannello (sp.5 cm) U= 1,42 W/m ² K	✗	✗	✗	✗	✗	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



I_VO_1

CARATTERISTICHE GENERALI

CORKPAN - Tecno Sugheri, Paderno Dugnano (MI).

Unità tecnologica: isolante termo-acustico per partizioni verticali e orizzontali.

Caratteristiche dimensionali: pannelli (50x100x1-32 cm) per cappotti interni ed esterni, intercapedini, facciate ventilate, sottotetti e coperture a falde.








Tipologia: pannelli di forma parallelepipedica in sughero naturale. La tostatura sprigiona la resina contenuta nella corteccia che agisce da collante naturale.

Posa in opera: ancoraggio mediante doppia spalmatura di collante naturale, fissaggio con viti autofilettanti o accostamento.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	110-130
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	0,12-3,9
λ	Conduttività termica	W/mK	0,039
δ_{10}	Sollecitazione di compressione con deformazione elastica del 10 %	N/mm ²	>0,1
Cs	Calore specifico	J/kgK	1900
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	20
-	Isolamento acustico	dB	50-60
-	Classe di resistenza al fuoco	-	E

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Sughero (100%)	✓					
-	-	-	-			
-	-	-	-			
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dall'analisi Life Cycle Assessment (LCA). **Dati elaborati dalla densità (130kg/m ³) e dagli spessori forniti dal produttore.		Spessori dell'elemento tecnico (cm)				
		1	32			
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	25,53 MJ/kg*	33,19 MJ/m ² **	1062,04 MJ/m ² **			
Embodied Carbon (EC)	-1,33 CO ₂ /kg*	-1,73 kg CO ₂ /m ² **	-55,33 kg CO ₂ /m ² **			
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio	Accostamento			
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Isolante (sp.32 cm) U= 0,12 W/m ² K	✓	✓	✓	✓	✓	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



I_VO_2

CARATTERISTICHE GENERALI

HEMPFLAX PLUS - Hempflax, Groninga (NL).

Unità tecnologica: isolante termo-acustico per partizioni verticali e orizzontali.

Caratteristiche dimensionali: pannelli (60x120x4-18 cm) per cappotti interni ed esterni, intercapedini, facciate ventilate, sottotetti e coperture a falde.








Tipologia: pannelli di forma parallelepipedica in canapa naturale trinciata. La canapa è fungicida e antibatterica, per cui non è necessario aggiungere sostanze chimiche all'isolante.

Posa in opera: fissaggio con viti autofilettanti su struttura lignea o metallica o accostamento.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	35,5
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	0,22-1
λ	Conduttività termica	W/mK	0,04
δ_{10}	Sollecitazione di compressione con deformazione elastica del 10 %	N/mm ²	-
Cs	Calore specifico	J/kgK	1800
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	< 1,5
α	Coefficiente assorbimento acustico	0-1	0,95
-	Classe di resistenza al fuoco	-	D,s1-d0

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Canapa (90%)	✓					
Fibre di lino (10%)	✓					
-	-	-	-			
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database MATREC. **Dati elaborati dalla densità e dagli spessori forniti dal produttore.		Spessori dell'elemento tecnico (cm)				
		4		18		
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	2,43 MJ/kg*	3,45 MJ/m ² **		15,53 MJ/m ² **		
Embodied Carbon (EC)	0,41 CO ₂ /kg*	0,58 kg CO ₂ /m ² **		2,62 kg CO ₂ /m ² **		
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio		Accostamento		
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Isolante (sp.18 cm) U= 0,22 W/m ² K	✓	✓	✓	✓	✓	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



I_VO_3

CARATTERISTICHE GENERALI

BIOFIB TRIO - Biofib, Saint Gemme La Plai (F).

Unità tecnologica: isolante termo-acustico per partizioni verticali e orizzontali.

Caratteristiche dimensionali: rotoli (60x340x10 cm) e pannelli (60x125x4,5-20 cm) per cappotti interni ed esterni, intercapedini, facciate ventilate, sottotetti e coperture a falde.








Tipologia: rotoli e pannelli di forma parallelepipedica in canapa naturale, cotone e lino con legante a bassa emissione di VOC, classe A+ (<1000 µg/m³).

Posa in opera: fissaggio con cambre su struttura lignea o metallica o accostamento.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	30
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	0,19-0,86
λ	Conduktività termica	W/mK	0,039
δ_{10}	Sollecitazione di compressione con deformazione elastica del 10 %	N/mm ²	-
Cs	Calore specifico	J/kgK	1800
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	< 2
α	Isolamento acustico	dB	61-69
-	Classe di resistenza al fuoco	-	F

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Canapa	✓					
Fibre di lino e cotone	✓					
Adesivi (8%)	✓					
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dall'analisi Life Cycle Assessment (LCA). **Dati elaborati dalla densità e dagli spessori forniti dal produttore.		Spessori dell'elemento tecnico (cm)				
		4,5		20		
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	46,88 MJ/kg*	63,29 MJ/m ² **		281,3 MJ/m ² **		
Embodied Carbon (EC)	1,07 CO ₂ /kg*	1,45 kg CO ₂ /m ² **		6,46 kg CO ₂ /m ² **		
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio		Accostamento		
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Isolante (sp.20 cm) U= 0,19 W/m ² K	✓	✓	✓	✓	✓	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



I_VO_4

CARATTERISTICHE GENERALI

CELENIT FL - Celenit, Onara di Tombolo (PD).

Unità tecnologica: isolante termico per partizioni verticali e orizzontali.

Caratteristiche dimensionali: pannelli flessibili per pareti perimetrali, pareti divisorie, controsoffitti e coperture (57,5x122x4-20 cm).








Tipologia: pannelli flessibili monostrato di forma parallelepipedica in legno pressato che sfruttano la capacità coesiva delle fibre provenienti dalla ripulitura di boschi e residui di legno non trattati.

Posa in opera: fissaggio con cambre su struttura lignea o metallica o accostamento.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	50
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	0,19-0,95
λ	Conduttività termica	W/mK	0,038
δ_{10}	Sollecitazione di compressione con deformazione elastica del 10 %	N/mm ²	-
Cs	Calore specifico	J/kgK	2100
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	1-2
α	Isolamento acustico	dB	-
-	Classe di resistenza al fuoco	-	E

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Fibra di legno (ripulitura boschi)			✓			
Fibra di legno (residui non trattati)			✓			
-	-	-	-			
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database MATREC. **Dati elaborati dalla densità e dagli spessori forniti dal produttore.		Spessori dell'elemento tecnico (cm)				
		4		20		
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	10,65 MJ/kg*	21,3 MJ/m ² **		106,5 MJ/m ² **		
Embodied Carbon (EC)	0,05 CO ₂ /kg*	0,1 kg CO ₂ /m ² **		0,5 kg CO ₂ /m ² **		
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio		Accostamento		
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Isolante (sp.20 cm) U= 0,19 W/m ² K	✓	✓	✓	✓	✓	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO



I_VO_5

CARATTERISTICHE GENERALI

FLAX INSULATION PLATE DP - Flachshaus Gmbh, Falkenhagen (D).

Unità tecnologica: isolante termico per partizioni verticali e orizzontali.

Caratteristiche dimensionali: pannelli flessibili e rotoli per: pareti perimetrali, pareti divisorie, controsoffitti, pavimenti e coperture (57,5-62,5x100x3-20 cm).








Tipologia: pannelli flessibili di forma parallelepipedica in fibre di lino, amido di patate e sodio ottoborato per la protezione al fuoco e come antimuffa.

Posa in opera: fissaggio con cambre su struttura lignea o metallica o accostamento.



CARATTERISTICHE FISICO - TECNICHE

	Parametro	Unità di misura	Valore
ρ	Densità	kg/m ³	30-50
U	Trasmittanza termica	W/m ² K	0,19-0,95
λ	Conduttività termica	W/mK	0,038
δ_{10}	Sollecitazione di compressione con deformazione elastica del 10 %	N/mm ²	-
Cs	Calore specifico	J/kgK	1660
δ a 10 ⁻¹¹	Permeabilità al vapore acqueo	kg/smPa	-
μ	Fattore di resistenza al vapore acqueo	-	1
α	Isolamento acustico	dB	-
-	Classe di resistenza al fuoco	-	E

CLASSIFICAZIONE DEI COMPONENTI (2008/98/CE e DM 6 Luglio 2012)						
Composizione	Materia prima	Materia prima seconda	Sottoprodotto			
Fibra di lino (80%)	✓					
Amido di patate (10%)		✓				
Sodio ottoborato (10%)	✓					
CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI						
*La determinazione dell'EE e dell'EC si basa sui valori ricavati dal database MATREC. **Dati elaborati dalla densità (50 kg/m ³) e dagli spessori forniti dal produttore.		Spessori dell'elemento tecnico (cm)				
		3		20		
Impatti ambientali	Unità funzionale = 1kg	Unità funzionale = 1m ²				
Embodied Energy (EE)	2,64 MJ/kg*	3,96 MJ/m ² **		26,4 MJ/m ² **		
Embodied Carbon (EC)	0,41 CO ₂ /kg*	0,61 kg CO ₂ /m ² **		4,1 kg CO ₂ /m ² **		
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE						
Modalità di posa in opera	Sistema a umido/Adesione/Saldatura	Incastro/Serraggio		Accostamento		
PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)						
Zone climatiche (2021)				Rhone-Alpes Piemonte	Rhone-Alpes Piemonte	
Valori minimi di riferimento U(W/m ² K)	A e B = 0,43	C = 0,34	D = 0,29	E = 0,26	F = 0,24	
Isolante (sp.20 cm) U= 0,19 W/m ² K	✓	✓	✓	✓	✓	
FINE VITA E SMALTIMENTO						
Indicatore di riciclabilità	Discarica rifiuti speciali	Discarica inerti	Incenerimento	Riciclabile con bassa capacità prestazionale	Riciclabile con alta capacità prestazionale	Biodegradabile e/o Riutilizzabile
						
RICICLATO	DA FONTE PARZIALMENTE RINNOVABILE	DA FONTE RINNOVABILE	RICICLABILE	BIODEGRADABILE	COMPOSTABILE	DICHIARAZIONE AMBIENTALE DI PRODOTTO

1.3.1 INDAGINE SULLE COLTURE PIEMONTESE E SELEZIONE DELLE FILIERE

Nel paragrafo precedente si è cercato di fornire un quadro generale sui prodotti edilizi che hanno utilizzato residui provenienti dal settore agro-forestale, tuttavia la disponibilità di queste risorse deve garantire un approvvigionamento continuo in larga scala, sebbene la loro reperibilità sia influenzata da fattori quali:

- La stagionalità;
- il complesso corpus normativo (ci sono voluti 12 anni per stabilire delle linee guida specifiche sui sottoprodotti);
- la mancanza di un mercato che incentivi le aziende a valorizzare gli scarti della produzione agricola;
- un esiguo numero di filiere ottimizzate per la raccolta e lo stoccaggio.

E' stato necessario, in un approccio scientifico, collaborare con enti e agronomi per reperire informazioni sul ciclo di vita dei prodotti agricoli e identificare: le produzioni annue, le superfici coltivate e le rese delle principali colture presenti sul territorio nazionale e piemontese.

In Italia, la coltura dei cereali ha occupato nel 2017, una superficie di 3.123.130 ha

con una produzione annua di 16.395.274 t (EnteRisi e ISTAT,2017).

Tra i principali seminativi (fig.1.5), il frumento ha coperto il 43% della produzione cerealicola italiana, poiché la crescente domanda di beni agroalimentari (pasta, farina e semilavorati) nel panorama europeo, ha incrementato del 10% la produzione e del 4% la superficie coltivata (ISTAT 2016).

Il secondo cereale è stato il mais con il 37%, a seguire il riso con il 10%, di cui l'Italia è il primo produttore europeo. Il sorgo, l'avena, la segale e l'orzo hanno rappresentato il

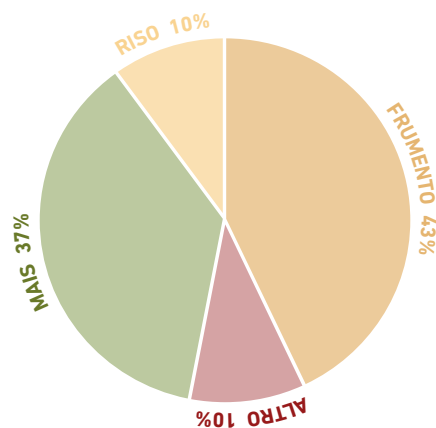


Fig. 1.5 Produzione nazionale dei principali cereali nel 2016

restante 10% delle specie colturali. Dal confronto dei dati ISTAT del 2017 (fig.1.6), nel panorama piemontese, il mais è stata la principale coltura come superficie investita (140.366 ha), a seguire il riso con 116.324 ha e infine il frumento con 84.292 ha.

Tuttavia, le aree coltivate a riso hanno subito una diminuzione del 1,4% rispetto al 2016 (Confederazione italiana agricoltori Piemonte, 2017) a causa delle importazioni in aumento dal Sud est asiatico (Cambogia e Myanmar) dove i costi sulla manodopera e i controlli sul raccolto sono stati meno restrittivi. Questa situazione, ha abbassato i prezzi del prodotto nostrano costringendo

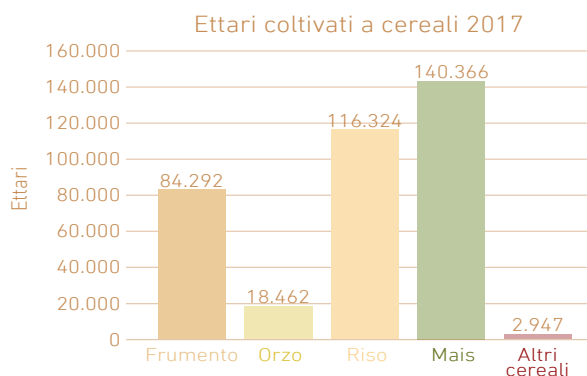


Fig. 1.6 Superficie coltivata a cereali in Piemonte.

molti agricoltori a ripiegare su altre tipologie di colture.

Il settore maidicolo ha evidenziato una situazione più stabile, poiché l'85% della produzione di granoturco nella provincia cuneese è destinata alla zootecnia locale (Confagricoltura, 2018). Inoltre, è stato previsto un incremento delle superfici coltivate, per sopperire alla domanda di bioenergia.

Sebbene il settore risicolo abbia subito una lieve flessione rispetto alle altre colture, la resa²⁴ è il principale fattore che

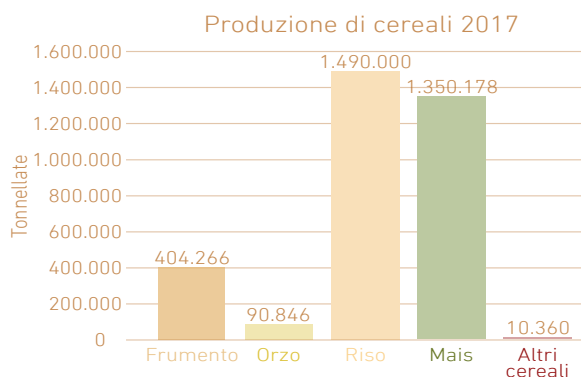


Fig. 1.7 Produzione cerealicola piemontese.

25_ E' il rapporto tra la superficie coltivata e la quantità prodotta, espresso in tonnellate/ettaro (t/h). Il parametro è influenzato: dalla fertilità del terreno, dalla tipologia di lavorazione del suolo, dalla concimazione, dagli eventi atmosferici e dai pesticidi.

ha determinato un'inversione del trend produttivo (fig.1.7) tra il riso (1.490.000 t) e il mais (1.350.178 t).

In aggiunta alla Lomellina (Pavia), le province di Vercelli e Novara hanno raccolto i 2/3 del totale italiano e hanno costituito il polo della risicoltura.

Malgrado un andamento nazionale positivo, la filiera del frumento piemontese ha subito un calo del 3,3 % su una produzione di 404.266 t, perché i ricavi non hanno permesso di coprire i costi di lavorazione delle piccole aziende (Confagricoltura Piemonte 2017).

Sono state scartate da questa analisi, le colture che non hanno garantito sufficienti residui per un approvvigionamento nel settore edilizio, quali:

- Avena (1.094 t);
- orzo (90.846 t);
- sorgo (7.978 t);
- canapa (663 t);
- nocciola (1.766 t).

Si precisa che, i sottoprodotti: dell'orzo, dell'avena e della soia sono destinati al settore zootecnico, mentre la pianta del sorgo è trinciata interamente per fini energetici (biogas).

Infine, la multinazionale Ferrero ha consumato nel 2017, il 32% della produzione mondiale di nocciole, di cui il 55% del frutto è composto dal guscio impiegato come combustibile.

Dai recenti studi condotti sullo scarto, è stato possibile estrarre il 20% di fibre (con proprietà antiossidanti) impiegate nel settore farmaceutico (La Stampa 2017).

Nei paragrafi successivi, la ricerca ha analizzato il percorso normativo che ha definito i residui in sottoprodotti e le tre principali colture piemontesi nell'ottica del ciclo di vita: dalla semina alla produzione di scarti. In collaborazione con agronomi ed enti specializzati nel campo delle agroforniture, sono stati ipotizzati degli scenari di implementazione delle filiere per garantire un approvvigionamento adeguato al settore edilizio.

Per raggiungere l'obiettivo, è stato necessario stabilire una metodologia di indagine basata sulla regola delle "5W": who, what, when, where, why (fig. 1.8).

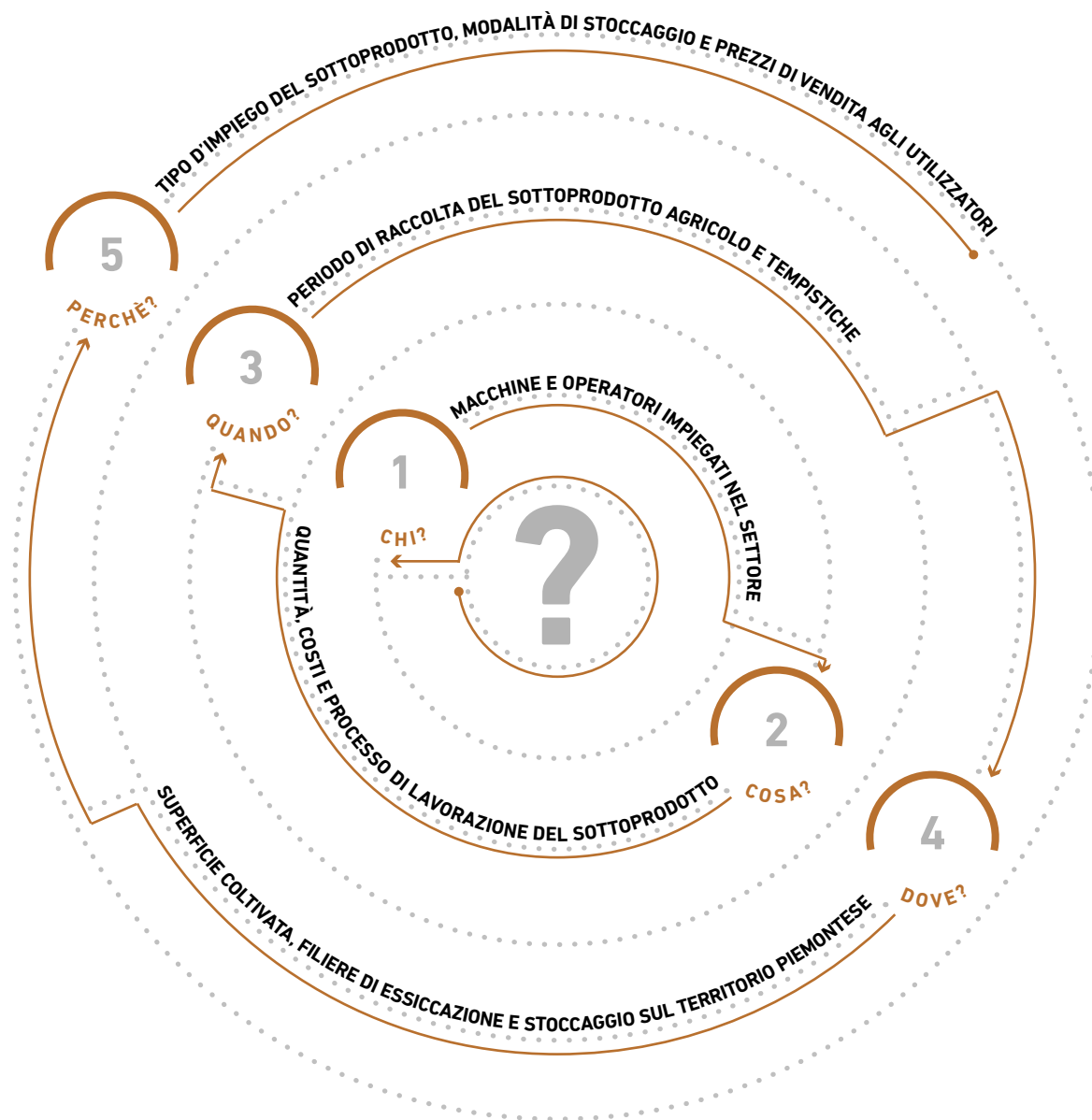


Figura 1.8 Diagramma delle 5W.

2 NORMATIVA SUI SOTTOPRODOTTI



2.1 DECRETO LEGISLATIVO 152 DEL 3 APRILE 2006 PARTE IV.

Il D.Lgs.152/2006, conosciuto come Testo Unico Ambientale, ha costituito il punto cardine per distinguere a livello normativo, i rifiuti, i sottoprodotti e le materie prime secondarie (MPS).

In particolare, l'Art. 183 comma 1 lett.a) definisce rifiuto:

« qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi. »

Il medesimo articolo alla lett. n) definisce sottoprodotto:

« 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 (...) »

I residui sono classificati come sottoprodotti, quando l'azienda produttrice decide di impiegarli direttamente o in altri processi produttivi, senza trasformazioni preliminari. I residui, generati in modo continuativo, sono commerciabili a patto che il produttore garantisca i presupposti economici favorevoli. Il destinatario

finale deve assicurare l'utilizzo certo dei sottoprodotti, nel rispetto delle norme sulla sicurezza di settore, della qualità ambientale e degli standard merceologici. Le materie prime secondarie (MPS), lettera q), raggruppano tutte le sostanze derivate dagli sfridi dei processi di lavorazione, recuperate o riciclate direttamente negli stabilimenti di produzione (es: gli scarti dei materiali ferrosi impiegati nell'industria siderurgica oppure la raccolta differenziata della plastica, del vetro e della carta che permette il recupero e la realizzazione di manufatti differenti da quello iniziale).

In questo contesto, gli scarti provenienti dal settore agricolo e agroindustriale, sono stati collocati come rifiuti speciali nell'Art.184 comma 3, mentre i materiali recuperati sono definiti come materie prime secondarie.

Gli articoli di questo Decreto hanno subito diversi cambiamenti nel corso del tempo, poiché l'Italia ha ricevuto 2 condanne dalla Corte di Giustizia Europea dopo aver commesso 6 infrazioni comunitarie (Giordano, R., 2010).

Si precisa che, il Testo Unico Ambientale, non ha analizzato esclusivamente il tema

dei rifiuti ma ha posto attenzione e regole generali: sull'inquinamento atmosferico, sugli impatti ambientali e sull'utilizzo delle risorse acqua e suolo.

Il 21 febbraio del 2007 la Comunità Europea dirama la "Comunicazione interpretativa sui rifiuti e sui sottoprodotti" (COM 2007/59 Def. 02/21/2007) per stabilire se un materiale sia da ritenersi un rifiuto o sottoprodotto (fig. 2.1).

Le linee guida presenti nel COM 2007/59, non sono state ritenute esaustive, poiché hanno lasciato un ampio margine interpretativo. (Dipartimento 3A, *Extravalore - Progetto MiPAAF Bando Settore Bioenergetico DM 246/07*, Convegno *I Sottoprodotti Agroforestali e Industriali a Base Rinnovabile - Normativa, recupero, conservazione, impiego, trasformazione e aspetti economici*, Vol.1 *I Sottoprodotti di interesse del DM 6.7.2012 - Inquadramento, Potenzialità e Valutazioni*, Ancona, 26-27 Settembre 2013, Università Politecnica delle Marche, p.7).

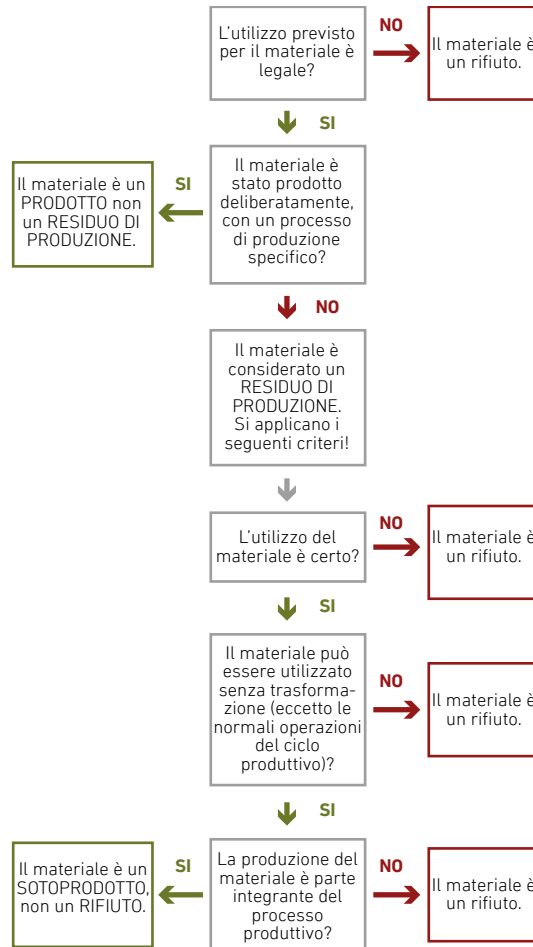


Fig. 2.1 Schema interpretativo per definire un rifiuto da un sottoprodotto secondo il COM 2007/59 (Fonte: Commissione Delle Comunità Europee, *Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo relativa al COM, Allegato II - Schema per stabilire se un materiale è da ritenersi rifiuto o sottoprodotto*, 21 febbraio 2007, Bruxelles, p.14)

2.2 DIRETTIVA 2008/98/CE E DECRETO LEGISLATIVO 205/2010.

La Commissione Europea ha introdotto, in data 19 novembre 2008, la direttiva 2008/98/CE riguardante la gestione dei rifiuti per la salvaguardia dell'ambiente e della salute umana.

Il quadro normativo generale ha stabilito i principi di classificazione dei rifiuti in materia di: prevenzione, recupero, riciclaggio, riutilizzo e smaltimento.

In ambito nazionale, il D.Lgs.205/2010 ha implementato la precedente prescrizione e ha ridefinito il significato di rifiuto in linea con la direttiva europea del 2008; in particolare l'art.184-bis, ha introdotto i quattro requisiti che una sostanza deve possedere per essere identificata come sottoprodotto e non come rifiuto (fig. 2.2):

- *la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;*
- *è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;*

- *la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;*
- *l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.*

Questo decreto ha incentivato l'utilizzo dei sottoprodotti per usi energetici, ma non è considerato l'atto conclusivo in materia di rifiuti, poiché ha presentato delle difficoltà tra interpretazione e applicazione.

La prima parte della normativa, non ha stabilito dei parametri sulle masse in gioco, cioè il rapporto tra: le materie prime, le quantità di residuo potenzialmente classificato come sottoprodotto e la quantità di prodotto principale. Poiché esistono processi industriali, in cui la quantità residuale supera quella del manufatto principale, vi è il rischio che le eccedenze siano considerate parte

integrante dell'oggetto anziché un rifiuto. La seconda condizione è restrittiva per i produttori, perché senza un intermediario, hanno l'obbligo di garantire all'utilizzatore finale che il residuo non sia qualificato come rifiuto per un impiego futuro.

Nella terza parte, si vuole evitare la perdita delle caratteristiche di partenza dei sottoprodotti con trattamenti "diversi dalla normale pratica industriale", condizione che ha alimentato le incertezze degli operatori per la mancanza di linee guida chiare sulle operazioni e fasi produttive ammissibili.

La decadenza dei quattro requisiti ha attribuito un codice CER (Catalogo Europeo dei Rifiuti) ai residui, che sono stati sottoposti a operazioni di recupero o smaltimento in base a criteri specifici (End Of Waste), non essendo più riqualificabili come sottoprodotti. (Dipartimento 3A, *Extravalore - Progetto MiPAAF Bando Settore Bioenergetico DM 246/07*, Convegno *I Sottoprodotti Agroforestali e Industriali a Base Rinnovabile - Normativa, recupero, conservazione, impiego, trasformazione e aspetti economici*, Vol.1 *I Sottoprodotti di interesse del DM 6.7.2012 - Inquadramento, Potenzialità e Valutazioni*, Ancona, 26-27

Settembre 2013, Università Politecnica delle Marche, p.3-4).

In generale, il materiale agricolo o forestale non è rientrato nel campo di applicazione del decreto (art 185 lettera f).

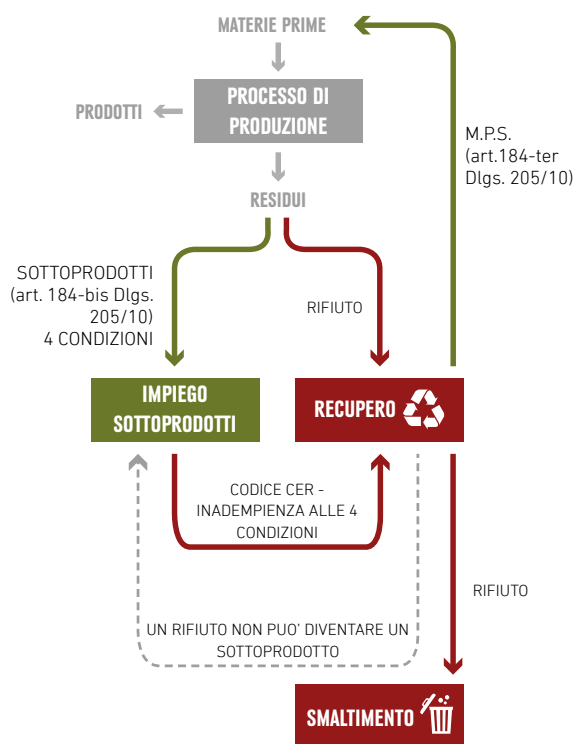


Fig. 2.2 Schema che definisce i sottoprodotti e le materie prime secondarie in base al D.Lgs.205/2010 (Fonte: Dipartimento 3A, Università Politecnica delle Marche, *I Sottoprodotti Agroforestali e Industriali a Base Rinnovabile - Normativa, recupero, conservazione, impiego, trasformazione e aspetti economici*, Ancona, 26-27 Settembre, p.9).

2.3 DECRETO MINISTERIALE 6 LUGLIO 2012.

Il Ministero dello Sviluppo Economico insieme al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha sancito il passaggio dei residui agro-forestali dalla categoria di "rifiuti speciali" a "sottoprodotti".

La finalità del decreto è stata di promuovere la produzione di energia elettrica tramite fonti rinnovabili, diverse dal fotovoltaico, con incentivi che hanno favorito l'utilizzo dei sottoprodotti.

Tra gli allegati, è presente una lista dettagliata dei residui che hanno l'obbligo di rispettare i quattro requisiti citati nell'articolo 184-bis del D.Lgs.205/2010 (Tab. 1).

Sebbene siano incluse diverse categorie di sottoprodotti agricoli, il decreto ha evidenziato ancora delle difficoltà interpretative, perché i prodotti agroalimentari sono composti da molteplici parti residuali, derivanti dalle stesse fasi di produzione di cui non sono definiti i processi di lavorazione e molte sostanze non sono state citate.

L'attuale giurisdizione ha ammesso solo trattamenti minimi per evitare che le operazioni complesse si confondano con quelle di riciclo dei rifiuti, perciò sarebbe

bene definire: i processi che generano i rifiuti o sottoprodotti e le ulteriori lavorazioni da integrare al terzo punto del D.Lgs.205/2010, differenziandole in base al settore di impiego. (Dipartimento 3A, *Extravalore - Progetto MiPAAF Bando Settore Bioenergetico DM 246/07*, Convegno *I Sottoprodotti Agroforestali e Industriali a Base Rinnovabile - Normativa, recupero, conservazione, impiego, trasformazione e aspetti economici*, Vol.1 *I Sottoprodotti di interesse del DM 6.7.2012 - Inquadramento, Potenzialità e Valutazioni*, Ancona, 26-27 Settembre 2013, Università Politecnica delle Marche, p.9).

Tabella 1. Elenco del DM 6 luglio 2012 sui sottoprodotti impiegati negli impianti a biogas e biomasse. (Fonte immagine: Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, *Elenco Sottoprodotti utilizzabili a biomasse e gas*, Allegato I, 6 Luglio 2012, <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2012/07/10/12A07628/sg>, [24/04/2018]).

1. Sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano - Reg. Ce 1069/2009

Classificati di Categoria 3:

- Carcasse e parti di animali macellati non destinati al consumo umano per motivi commerciali;
- prodotti di origine animale o prodotti alimentari contenenti prodotti di origine animale non più destinati al consumo umano per motivi commerciali o a causa di problemi di fabbricazione o difetti
- che non presentano rischi per la salute pubblica o degli animali;
- sottoprodotti di origine animale derivanti dalla fabbricazione di prodotti destinati al consumo umano, compresi ciccioli, fanghi da centrifuga o da separatore risultanti dalla lavorazione del latte;
- sangue che non presenti alcun sintomo di malattie trasmissibili all'uomo o agli animali;
- rifiuti da cucina e ristorazione;
- sottoprodotti di animali acquatici.

Classificati di Categoria 2:

- Stallatico: escrementi e/o urina di animali, guano non mineralizzato;
- tubo digerente e suo contenuto;
- farine di carne e d'ossa;
- sottoprodotti di origine animale raccolti nell'ambito del trattamento delle acque reflue a norma delle
- misure di attuazione adottate conformemente all'articolo 27, primo comma, lettera c) del predetto regolamento:
 - da stabilimenti o impianti che trasformano materiali di categoria 2;
 - da macelli diversi da quelli disciplinati dall'articolo 8, lettera e) del predetto regolamento.

Classificati di Categoria 1:

Tutti i sottoprodotti elencati all'articolo 8 del regolamento CE n. 1069/2009 (con specifiche di utilizzo previste nel regolamento stesso e nel regolamento CE n. 142/2011).

2. Sottoprodotti provenienti da attività agricola, di allevamento, dalla gestione del verde e da attività forestale.

- Effluenti zootecnici;
- paglia;
- pula;
- stocchi;
- fieni e trucioli da lettiera.
- residui di campo delle aziende agricole;
- sottoprodotti derivati dall'espanto;
- sottoprodotti derivati dalla lavorazione dei prodotti forestali;
- sottoprodotti derivati dalla gestione del bosco;
- patate, ramaglie e residui dalla manutenzione del verde pubblico e privato.

3. Sottoprodotti provenienti da attività alimentari ed agroindustriali.

- Sottoprodotti della trasformazione del pomodoro: buccette, semi, bacche fuori misura;
- sottoprodotti della trasformazione delle olive: sanse di oliva disoleata, sanse umide, sanse esauste, acque di vegetazione; è consentito anche l'uso della sansa nella sola regione Sardegna o qualora la sansa fornita all'impianto di produzione elettrica provenga da impianti di produzione di sansa che distino più di 70 km dal più vicino sansificio. Il ricorrere di tale ultima condizione è dichiarato dal produttore di energia elettrica all'atto della richiesta di accesso agli incentivi e oggetto di analogo impegno da rinnovare annualmente; in fase di esercizio, si applicano le vigenti modalità per la tracciabilità delle biomasse per la produzione di energia elettrica:
 - sottoprodotti della trasformazione dell'uva: vinacce, graspi, buccette, vinaccioli e farine di vinaccioli;

- sottoprodotti della trasformazione della frutta: derivanti da attività di condizionamento, spremitura, sbucciatura o detorsolatura, pastazzo di agrumi, noccioli, gusci;
- sottoprodotti della trasformazione di ortaggi vari: condizionamento, sbucciatura, confezionamento;
- sottoprodotti della trasformazione delle barbabietole da zucchero: borlande, melasso, polpe di bietola esauste essiccate, suppressate fresche, suppressate insilate;
- sottoprodotti derivanti dalla lavorazione del risone: farinaccio, pula, lolla;
- sottoprodotti derivanti dalla lavorazione dei cereali: farinaccio, farinetta, crusca, tritello, glutine, amido, semi spezzati;
- pannello di spremitura di alga;
- sottoprodotti delle lavorazioni ittiche;
- sottoprodotti dell'industria della panificazione, della pasta alimentare, dell'industria dolciaria: sfridi di pasta, biscotti, altri prodotti da forno;
- sottoprodotti della torrefazione del caffè;
- sottoprodotti della lavorazione della birra;
- sottoprodotti della lavorazione di frutti e semi oleosi: pannelli di germe di granoturco, lino, vinaccio, terre decoloranti usate oleose, pezze e code di lavorazione di oli vegetali.

4. Sottoprodotti provenienti da attività industriali.

- Sottoprodotti della lavorazione del legno per la produzione di mobili e relativi componenti;
- sottoprodotti dell'industria del recupero e del riciclo di materie a base organica.

2.4 DECRETO 13 OTTOBRE 2016, n. 264.

Il 2 marzo del 2017 è entrato in vigore l'ultimo correttivo, definito *“Regolamento recante criteri indicativi per agevolare la dimostrazione della sussistenza dei requisiti per la qualifica dei residui di produzione come sottoprodotti e non come rifiuti”*. Nell'articolo 2 è stato introdotto il significato di prodotto (materiale o sostanza ottenuta volontariamente in un ciclo di produzione o risultato di una scelta tecnica) e di residuo (materiale o sostanza, che può essere considerato o meno un rifiuto, prodotto involontariamente in un processo di lavorazione), mentre la definizione di sottoprodotto è rimasta in linea con le disposizioni precedenti.

Questo decreto è stato applicato ai residui di produzione e non ha contemplato le seguenti voci:

- i prodotti principali del ciclo di lavorazione;
- le sostanze appartenenti alla categoria dei rifiuti che sono contenuti nell'articolo 185 del D.Lgs.205/2010 (materiali esplosivi, rifiuti radioattivi, emissioni costituite da sostanze gassose che possano inquinare l'atmosfera, terreno proveniente da suoli contaminati, ecc);

- residui derivanti dall'utilizzo finale da parte dei consumatori.

Le quattro condizioni generali previste dall'art.184-bis del D.Lgs. 205/2010, devono essere documentate all'interno di un fascicolo (validità triennale), che dimostri il possesso dei requisiti alle autorità di controllo dalla produzione del residuo al momento del suo impiego.

I produttori, gli intermediari e gli utilizzatori finali (registrati negli elenchi della Camera di Commercio) dovranno specificare, in un contratto stipulato a monte, l'attività o gli impianti in cui saranno destinati i residui, comprese le modalità di deposito e di trasporto. Per quanto riguarda le normali pratiche industriali sono da considerarsi idonee le attività integrate nell'allegato 1 sez. 1, quali: il lavaggio, la trinciatura, l'essiccazione, la fermentazione naturale, ecc. Le operazioni che intendono correggere le caratteristiche del manufatto, non sono conformi alla normativa sui sottoprodotti (es. l'estrazione della lignina o della silice dalle paglie), in questo caso, la sostanza è da considerarsi MPS derivante da interventi di recupero.



PARTE II

MAIS, RISO E FRUMENTO: DA FILIERA LINEARE A FILIERA CIRCOLARE



3 FILIERA DEL MAIS

3.1 STORIA E MORFOLOGIA DELLA PIANTA

Il mais fu introdotto nelle regioni balcaniche intorno al 1.600, durante l'egemonia dell'impero Ottomano (da qui deriva il termine popolare "granturco") e successivamente si diffuse in Italia.

Da semplice coltura di auto-sostentamento, si è trasformata in una produzione orientata al mercato nelle aree fortemente irrigate come le regioni dell'Italia settentrionale: Piemonte, Lombardia, Friuli Venezia Giulia e Veneto, mentre nelle aree meridionali la produzione maidicola è decisamente scarsa e pressoché inesistente nelle Isole.

La pianta del mais (*Zea mays* L.)¹ appartiene al tipo *Maydeae*, della famiglia delle *Graminae*. Il termine "*Zea*" deriva dal greco e significa "*vivere*", invece "*mays*" corrisponde al lemma indiano "*mahiz*" o "*marisi*", ovvero "*pane di vita*" (Marocco, A., Lorenzoni, C., 2009).

Il genere *Zea* è originario del Messico e dell'America latina e si presenta con le seguenti caratteristiche (fig. 3.1):

- il sistema radicale risulta di tipo fascicolato che si sviluppa nel terreno in modo omnidirezionale, normalmente anche più di 1 m in suoli ricchi mentre anche più di 2,5 m in quelli aridi²;

- il fusto o culmo si sviluppa per un'altezza di circa 2-3 m con un diametro di 3-4 cm, è caratterizzato da 8 a 21 internodi dal quale si sviluppano le foglie³;
- una doppia inflorescenza separata⁴, maschile⁵ e femminile. Quest'ultima si riscontra nella spiga o spadice, (comunemente conosciuta come pannocchia) che consiste in una ramificazione prossima a un internodo.

In origine, le piante producevano una singola pannocchia matura, attualmente, con il miglioramento genetico, si producono più spighe per pianta.

1_ La varietà *Zea mays* L. è stata coltivata per la prima volta circa 10.000 anni fa sulle rive del fiume Balsas nelle regioni meridionali del Messico.

2_ Nella parte terminale delle radici si osserva la cuffia, struttura che si addentra nel terreno senza danneggiare l'apparato radicale.

3_ L'epidermide delle foglie è satura di silice che gli permette di mantenere la posizione eretta per tutto il ciclo vegetativo.

4_ Definita in termine tecnico "monoica".

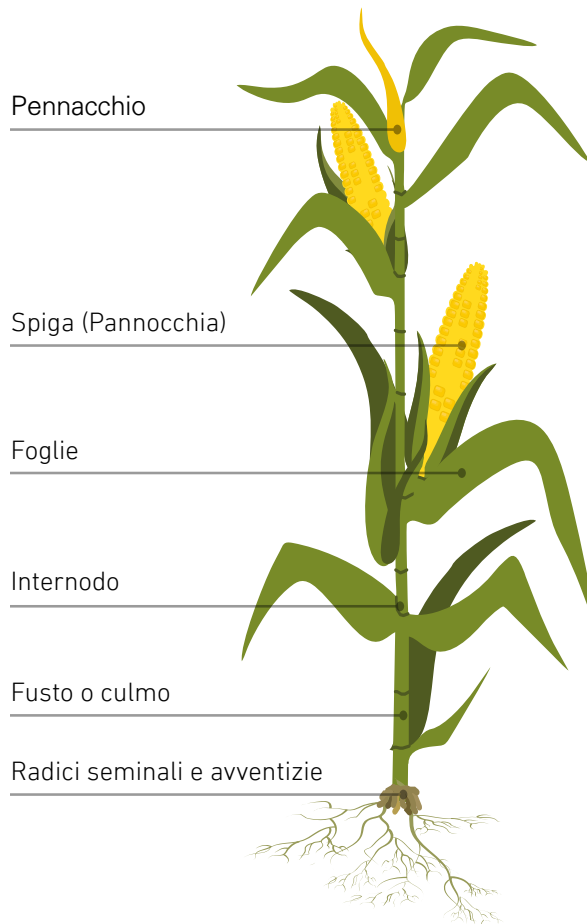


Fig. 3.1 Morfologia della pianta di mais.

3.2 CICLO VEGETATIVO E AMBIENTALE

Il ciclo complessivo di maturazione del mais dura al massimo 145 giorni, in cui la pianta richiede una temperatura media diurna compresa tra 21 e 27 °C, con un elevato livello di radiazione solare e una minima notturna di 12 °C. L'acqua e il terreno sono elementi fondamentali per la crescita e la resa finale; mentre le carenze idriche prolungate possono comportare la completa perdita della produzione, le caratteristiche del suolo giocano un ruolo decisivo sulla resa di granella. Ogni campo deve essere arato per garantire una maggiore permeabilità dell'acqua e per facilitare l'esposizione solare dello strato sottostante; infine, il passaggio di un' erpice⁶ (fig. 3.2) è utile per preparare al meglio il letto prima della semina.

In vista del risultato finale (raccolta del maggior quantitativo di granella) influiscono tre fattori:

- acqua, nelle regioni padane si stima un consumo medio di 6000/8000 m³/ha;
- densità, la quantità di piante ottimale per ettaro è di 50.000-100.000 unità;

⁵_ Caratterizzata da tre stami, raccolti nell'inflorescenza definita "pennacchio"

⁶_ Detto anche frangizolle, attrezzo necessario per eseguire l'erpicazione. Prima di procedere con le operazioni di semina, l'aratro smuove il terreno mentre l'erpice lo spiana e lo sminuzza.

- concimazione.

Nel Nord Italia, il periodo di semina del mais da granella⁷ coincide con la seconda settimana di Marzo e fine Aprile (fig. 3.3), per le esigenze di temperatura che il seme necessita durante la fase la germinazione (18-20 giorni). La fioritura varia in base alla tipologia di ibrido, per i precoci da 45-50 giorni, mentre per i tardivi 70-75 giorni.

Il periodo cruciale, in cui l'apporto di acqua caratterizza la resa finale, è precedente ai 15-20 giorni dalla fioritura e per i successivi 30 giorni; uno stress idrico, in questa fase, può incidere del 50-60% sulla produzione di materia prima.

La pianta necessita di un successivo periodo di maturazione, che oscilla tra i 40 e i 70 giorni, prima della raccolta nel mese di Settembre - Ottobre. Il ciclo complessivo di coltura in Italia può differire da un minimo di 90 giorni, ad un massimo di 145 giorni (Maggiore, T., Mariani, L., Verderio, A., 2009).



Fig. 3.2 Erpicatura del fondo di semina (Fonte immagine: <https://www.greatplainsag.com/en/products/720/flex-harrow>).



Fig. 3.3 Semina (Fonte immagine: <https://dk.kverneland.com/Saamaskiner/Precisionssaamaskiner/Precisionssaamaskiner/Kverneland-Optima-TFprofi>).

⁷ Per garantire una buona resa è necessario evitare semine troppo anticipate (10 Aprile), per i terreni argillosi si dovrà ritardare il processo di una settimana.

3.3 RACCOLTA DEI TUTOLI

In passato, per ricavare la granella, era necessario tagliare l'intera pannocchia e lasciarla essiccare al sole (fig. 3.4), i residui erano utilizzati per lucidare l'ottoneria.

Con l'avvento degli essiccatoi meccanizzati⁸ (fig. 3.5), dotati di getti d'aria calda, è possibile inserire solamente la granella, mentre il tutolo è separato con la spannocchiatrice; successivamente sarà trinciato con la trebbiatrice e lasciato in campo, per essere interrato nelle fase di aratura.

La superficie coltivata a mais (granella e trinciato) in Piemonte ammonta a 140.366 ha (dato ISTAT 2017); tuttavia la maggior parte dei tutoli presenti sul mercato proviene dalle industrie agricole (es. Agrindustria⁹ di Cuneo) che li utilizzano come lettiere per animali oppure sono destinati a cooperative per la produzione di biogas (es. Cooperativa Speranza a Candiolo). E' stato stimato che la quantità di tutolo ricavabile sia di 1,3 t/ha, moltiplicati per la superficie totale coltivata a mais in



Fig. 3.4 Essiccazione tradizionale dei tutoli (Fonte immagine: <http://ilmegliodigaia.altervista.org/antiche-tecniche-conservazione/>).



Fig. 3.5 Essiccazione meccanizzata della granella (Fonte immagine: <https://www.bertigroup.net/single-post/2015/07/23/Come-funziona-un-impianto-di-essiccazione-cereali>).

8_ L'essiccatoio è una macchina agricola utilizzata per rimuovere umidità dal cereale al fine di facilitare operazioni di stoccaggio e preparare il prodotto per successive lavorazioni. Il ciclo di essiccazione si svolge in 4 fasi: carico della macchina, essiccazione (in forma ecologica o a fiamma diretta), raffreddamento e scarico del prodotto.

9_ Industria che produce farine alimentari precotte, abrasivi vegetali soffici, basi per cosmetici, supporti per l'industria farmaceutica e mangimistica e prodotti vegetali per molteplici utilizzi.

Piemonte (140.366 ha), è stato ottenuto il quantitativo potenzialmente disponibile di sottoprodotto (182.475 t).

La necessità di raccogliere un residuo dai molteplici riutilizzi ha permesso di sviluppare, con il contributo della Regione Piemonte (PROGETTO ENERCOB)¹⁰, un prototipo in commercio per la raccolta simultanea di granella e tutolo trinciato. Le unichemietitrebbiatrici¹¹ in grado di montare il kit "HARCOB" sono state brevettate da "CAPAC-RACCA", con dimensioni ridotte e a marchio "CASE" (sottomarca agricola della FIAT). Questi macchinari raccolgono in parallelo la materia prima e il sottoprodotto, dopodiché due coclee di scarico (fig. 3.6) li convogliano separatamente nei carri, per limitare i costi e i tempi della raccolta. L'umidità del trinciato¹² è stata stabilita da una proporzione in cui la granella possiede un tasso del 25% al momento della raccolta; si ottiene la seguente formula:

$$\text{Umidità tutolo} = \text{umidità granella} \times 2 - 10 = 40\%$$

Gli studi condotti dai laboratori della Cooperativa Speranza di Candiolo hanno evidenziato, nella porzione secca (fig. 3.7), l'85% di sostanze fibrose (Tab. 1).

Le misurazioni sulle dimensioni, rilevano che il 21% del materiale, si presenta con una pezzatura inferiore a 5,5 mm, il 28% tra 5,5 e 10 mm, il 46% tra 10 e 20 mm; mentre la frazione inferiore ai 30 (mm), rappresenta il 4 % (Blandino, M., Calcagno, M., Ferrero, C., Fabbri, C., Vanzetti, C., Reyneri, A., 2013).

Tutolo di mais - caratteristiche chimico - fisiche	
Emicellulosa (%)	40
Cellulosa (%)	29
Lignina (%)	16
Carbonio organico (mg/kg)	548,533
Ceneri (g/ 100 g)	2,44
Fosforo (mg/kg)	7.273,64
Potassio (%)	735,51
Magnesio (%)	496,11

Tabella. 1 Composizione del tutolo di mais (Fonte immagine: http://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Settori/Ambiente/Download/Archivio_2013/IA_suppl43_2013_p11.pdf).

10_ Ricerca svolta e finanziata dalla Regione Piemonte, dal 2007 al 2013, nell'ambito del Programma dello sviluppo rurale. Il PSR stabilisce le modalità di erogazione dei finanziamenti europei nel settore agricolo.

11_ Le mietitrebbiatrici hanno dimensioni ridotte per la disposizione "axial-flow" del singolo rotore; progettate per sopperire alle esigenze di aziende e di contoterzisti, per ridurre i costi operativi, con elevate performance di taglio.

12_ Il tutolo rappresenta l'elemento più umido della pianta di mais, comportandosi come una riserva d'acqua da destinare alle cariossidi (granella) in caso di necessità.



Fig. 3.6 Essiccazione meccanizzata della granella (Fonte immagine: <https://www.youtube.com/watch?v=BYB-x558oP8>).



Fig. 3.7 Campione di tutolo trinciato, prelevato dalla Cooperativa Speranza di Candiolo (Aprile 2018).

3.4 FILIERA DI STOCCAGGIO E MERCATO

L'impiego del sottoprodotto, nel panorama italiano, ha determinato le modalità di stoccaggio e i prezzi di mercato.

Nella produzione di biogas, per abbassare il pH con la digestione anaerobica¹⁴, l'insilato¹⁵ di mais è coperto con un film plastico in trincee orizzontali (fig. 3.8) mentre l'accatastamento in rotoballe fasciate prevede l'utilizzo nella zootecnia, come integratore alimentare per i ruminanti.

Il tutolo intero ed essiccato rappresenta una valida alternativa alla carbonella come combustibile, invece la macinazione in granuli trova impiego come lettiera per gli animali domestici, nel settore farmaceutico per la produzione di eccipienti¹⁶ da somministrare a suini e conigli, in edilizia per il restauro di elementi in marmo e nel settore industriale con le seguenti applicazioni:

- vibrofinitura, per rimuovere i residui superficiali nella fase di produzione dei

14_ Processo di degradazione biologica dove, in assenza di ossigeno, i microrganismi trasformano la sostanza organica in biogas; a differenza di quello aerobico, in cui la sostanza organica (compost) si decompone in presenza d'aria.

15_ I vegetali freschi o semi-appassiti sono caricati a strati nel silo e compressi mediante pesi, per ridurre la presenza di aria, lo sviluppo di lieviti e muffe.

16_ sostanza inerte diluita che conferisce forma e consistenza al farmaco principale, per agevolare la somministrazione.

- pezzi metallici;
- lucidatura di posate ed argenteria con granuli abrasivi;
- sabbiatura del legno e dell'alluminio, per pulire, asportare e sverniciare le patine in alternativa ai granuli di silice.

Ogni lavorazione richiede un sottoprodotto con una granulometria differente, stoccato in sacchi da 25 kg (fig. 3.9). Per esempio, l'azienda Silco di Torino utilizza farine e granuli di diametro 0,18-6 mm per il trattamento superficiale di manufatti metallici.

Sebbene la maggior parte dei tutoli disponibili rimanga nei campi (Diagr. 1), le quotazioni nella borsa merci oscillano tra 60 e 70 €/t (dati CAPAC 2017).

Le difficoltà, nel raccogliere e conservare un residuo con una resa notevole, sono legate alla mancanza di possibilità da parte delle piccole aziende di acquistare macchinari specifici come il kit "Harcob" (utilizzabile soltanto sulle nuove mietitrebbiatrici "Case"), inoltre le operazioni per ottenere una granulometria calibrata, hanno costi elevati.



Fig. 3.8 Stoccaggio in trincee (Fonte immagine: <http://www.dallamoraprefabbricati.it/agrozootecnia/muri-contenimento/>).



Fig. 3.9 Stoccaggio dei sacchi presso l'azienda Silco.

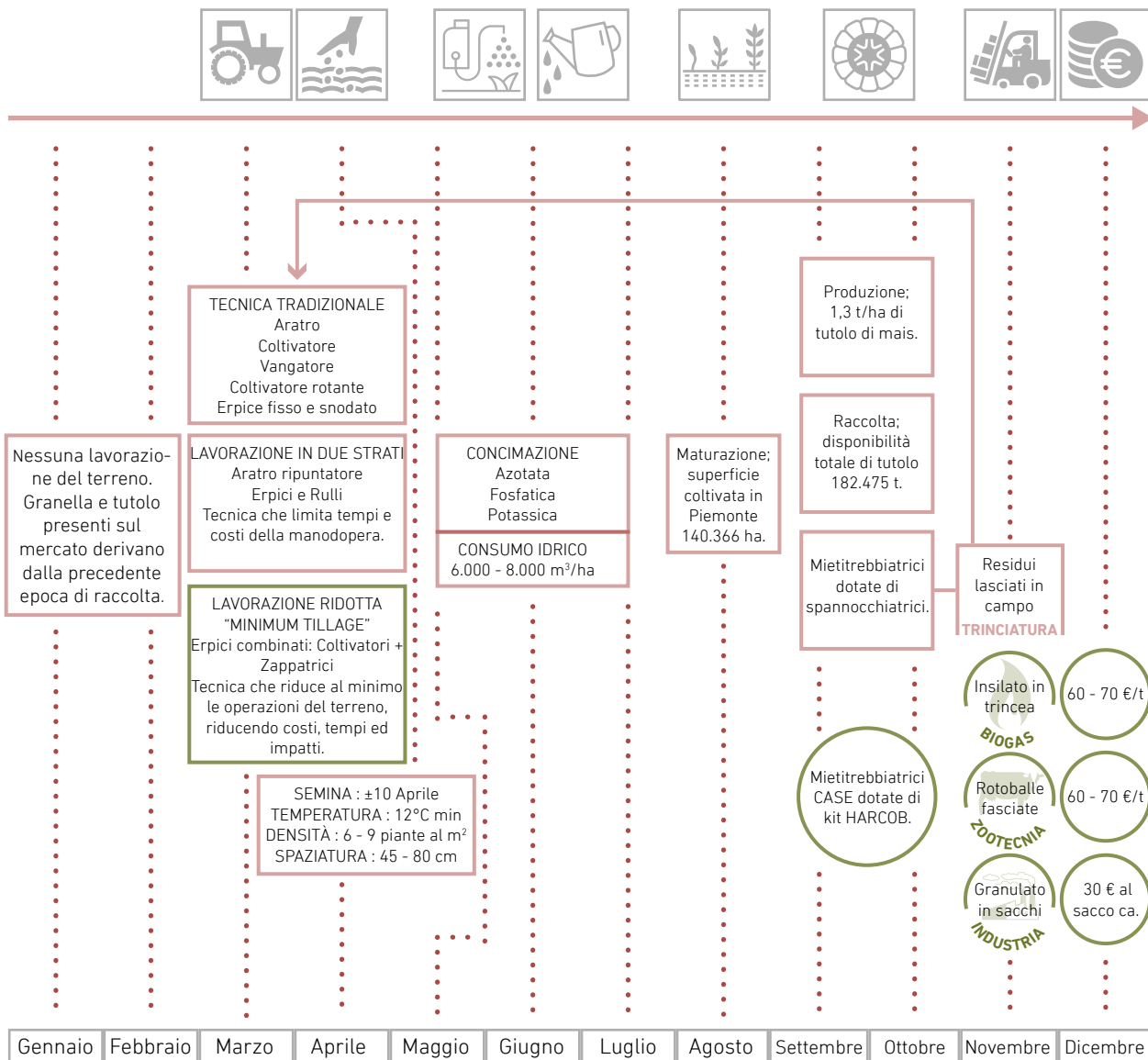


Diagramma 1. Scenario lineare (attuale) della filiera del mais e del sottoprodotto.

3.5 IMPLEMENTAZIONE DELLA FILIERA

Questo paragrafo è stato elaborato in collaborazione con il Consorzio Agricolo Piemontese per Agroforniture e Cereali, ed è stato analizzato un ipotetico scenario (Diagr. 2) di: raccolta, stoccaggio, mercato e riutilizzo del tutolo trinciato nel settore edilizio.

La mietitura è stata affidata ai contoterzisti¹⁶, poiché le piccole e medie aziende maidicole non riescono a dotarsi della giusta attrezzatura, per l'elevato costo di acquisto (circa 300.000 €) e di manutenzione dei macchinari. In quest'ottica, CAPAC è il punto di riferimento per 2.500 aziende associate (fig. 3.10); con un parco macchine composto da 15 "trebbie" a marchio CASE, che raccolgono il 50% della produzione agricola (6.000/7.000 t di tutolo fresco), con il vantaggio di racimolare simultaneamente la granella e il sottoprodotto con una riduzione di tempi e costi. Inoltre, la trinciatura permette il riutilizzo immediato dei tutoli, venduti interamente alla società Cooperativa "Speranza" di Candiolo (fig. 3.11).

I servizi offerti ai soci prevedono: il taglio, il



Fig. 3.10 Stabilimento di Vigone (Fonte immagine: <http://www.stopfalsecooperative.it/wp-content/uploads/2015/08/prealpina-e-vigonese-031.jpg>).



Fig. 3.11 Cooperativa "Speranza" di Candiolo (Fonte immagine: <http://www.comunirinnovabili.it/biogas-a-candiolo/>).

¹⁶_ Si tratta di personale qualificato e di mezzi meccanici in grado di realizzare lavorazioni complesse nel settore agricolo, per fornire: consulenze, tecnologie e manodopera a terzi.

trasporto, l'essiccazione, lo stoccaggio e la vendita della granella di mais a 130 €/ha. Sebbene la produzione annua di tutoli sul territorio piemontese sia di 182.475 t, risulta impossibile realizzare una filiera di raccolta per tutta la quantità disponibile, perciò si ipotizza una collaborazione con un singolo consorzio pilota.

Nel nostro scenario, CAPAC dovrebbe raccogliere il 100% del sottoprodotto presente sul campo (circa 14.000 t), destinandone il 50% alla produzione di biogas e il 50% al settore edilizio.

Per facilitare l'approvvigionamento, è necessario realizzare un centro di stoccaggio nelle vicinanze dell'azienda che realizza il prodotto edilizio, poiché il trinciato di tutolo è un residuo leggero che occupa volume (densità pari a 200 kg/m³). In questo caso, l'azienda Sarotto Group si colloca in una posizione centrale rispetto alle province con maggiore superficie destinata a mais (fig. 3.12): Cuneo (42 km), Alessandria (88 km) e Torino (67 km). Inoltre, si suggerisce di realizzare un silo verticale o lo stoccaggio in rotoballe per sfruttare al meglio le quantità disponibili durante la raccolta e limitare il consumo di

spazio, soluzione più vantaggiosa rispetto alla realizzazione di una trincea.

Infine, sono stati comparati i valori presenti sulle borse merci con quelli ricavati dalle vendite di CAPAC, identificando un ricavo complessivo di 10.948.500 €, a fronte di una produzione annua piemontese di 182.475 t e un valore medio di 60 €/t.

Siccome è impossibile garantire una filiera così efficiente, è stata ipotizzata una collaborazione con CAPAC, che garantirebbe al contoterzista, un ricavo proveniente dal settore edilizio di 420.000 € su un raccolto di 7.000 t.



Fig. 3.12 Superfici coltivate a mais rispetto a Narzole.

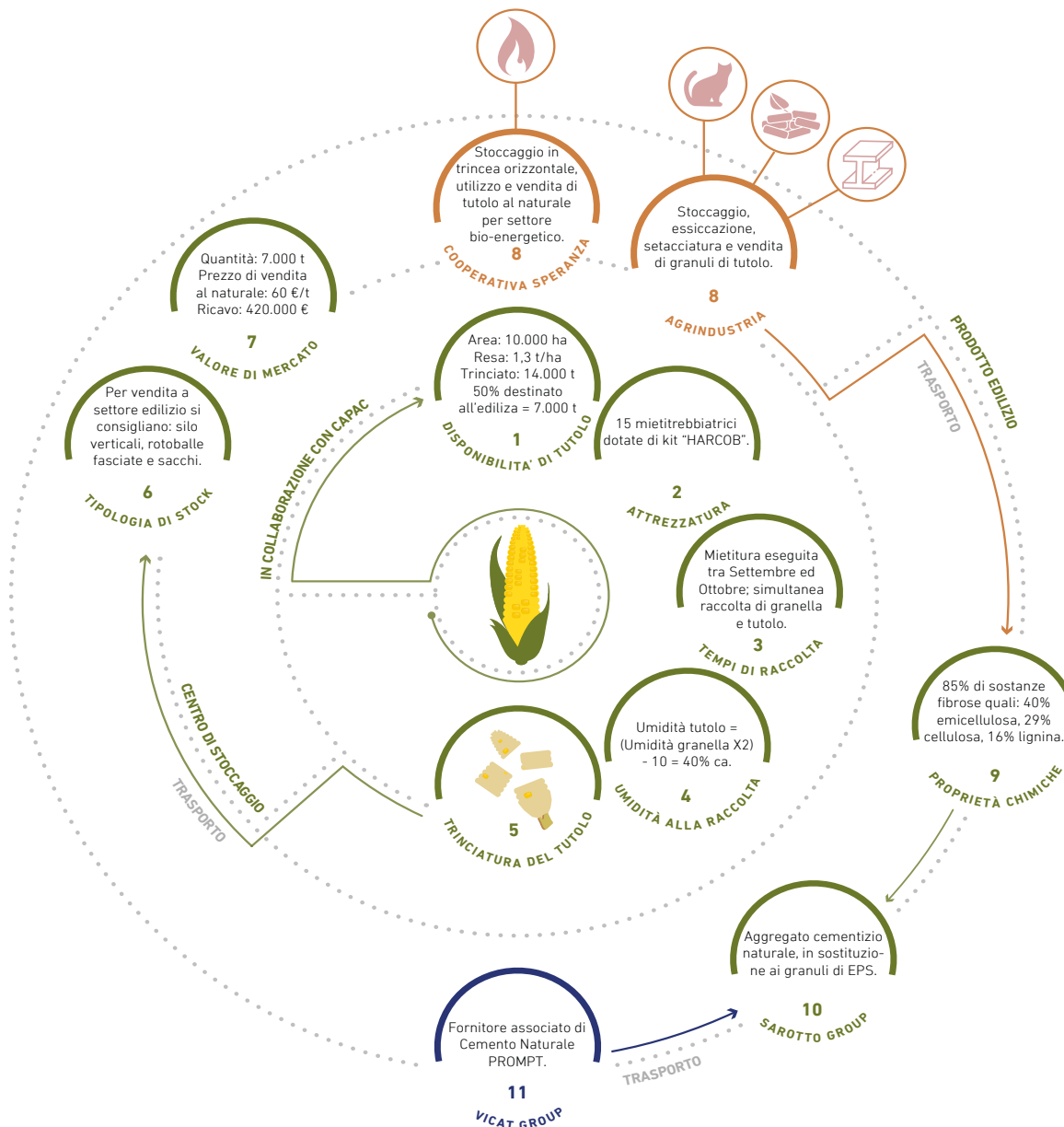


Diagramma 2. Scenario circolare del tutolo di mais.



4 FLIERA DEL RISO

4.1 STORIA E MORFOLOGIA DELLA PIANTA

Il riso è da sempre un cereale molto diffuso, conosciuto fin dagli antichi Greci. In Italia, le prime coltivazioni sono state introdotte in Sicilia dagli Arabi intorno al VIII secolo. Per quanto riguarda la propagazione come coltura tradizionale nella Pianura Padana non si hanno dati certi ma solamente supposizioni, secondo alcuni potrebbero essere stati i soldati francesi di Carlo Magno, altri ipotizzano i commercianti delle Repubbliche Marinare. Le prime fonti certe sulla coltivazione risicola nell'Italia settentrionale, riguardano appezzamenti di terre destinate a risaia nei pressi di Vercelli nell'anno 1227.

Questo cereale è diventato fondamentale per il sostentamento (fisico ed economico) della popolazione, cosicché la sua coltivazione si è diffusa nell'intera Pianura Padana. Ad oggi, l'Italia è il maggior produttore europeo di riso, concentrando la coltura nelle province di Vercelli, Novara e Pavia (Ferrero, A., Tinarelli, A., 2009).

Il riso (*Oryza Sativa*) appartiene al tipo "*Oryzae*", della famiglia delle *Gramineae* e si distingue in due categorie: "*Indica*" (adatto a climi equatoriali) e "*Japonica*" (adatto a climi temperati caldi).

La pianta (fig. 4.1) necessita di ambienti paludosi per svilupparsi e assume le seguenti caratteristiche¹:

- l'apparato radicale è di tipo fascicolato che si sviluppa ed accresce la sua importanza man mano che progredisce la crescita;
- il fusto, come per le altre Graminacee, è denominato culmo e presenta internodi cavi²;
- le foglie, ruvide al tatto, sono caratterizzate da peli corti e rigidi, inoltre, come altri organi della pianta, inglobano alti tassi di silice.
- Il seme è chiamato riso grezzo o risone ed è costituito da una cariosside, della quale si distinguono due elementi: un frutto secco ed un rivestimento, noto come lolla³ (Bocchi, S., 2009).

1_ <http://www.agraria.org/coltivazionierbacee/riso.htm>

2_ Nelle condizioni ordinarie di coltivazione del riso, nei climi temperati, il cespo di una pianta di riso presenta in media da 1 a 3 culmi in grado di formare un'infiorescenza produttiva, mentre in situazioni molto particolari (per esempio nel caso di piante isolate), si sono osservati fino a oltre cinquanta culmi fertili per pianta.2_ Nella parte terminale delle radici si osserva la cuffia, struttura che si addentra nel terreno senza danneggiare l'apparato radicale.

3_ Tale sottoprodotto non è oggetto di studio di questa tesi poiché sono già presenti delle proposte di riutilizzo nel panorama architettonico, inoltre le disponibilità sul mercato sono limitate dato il vasto ventaglio di campi d'impiego, primo fra tutti il bioenergetico.

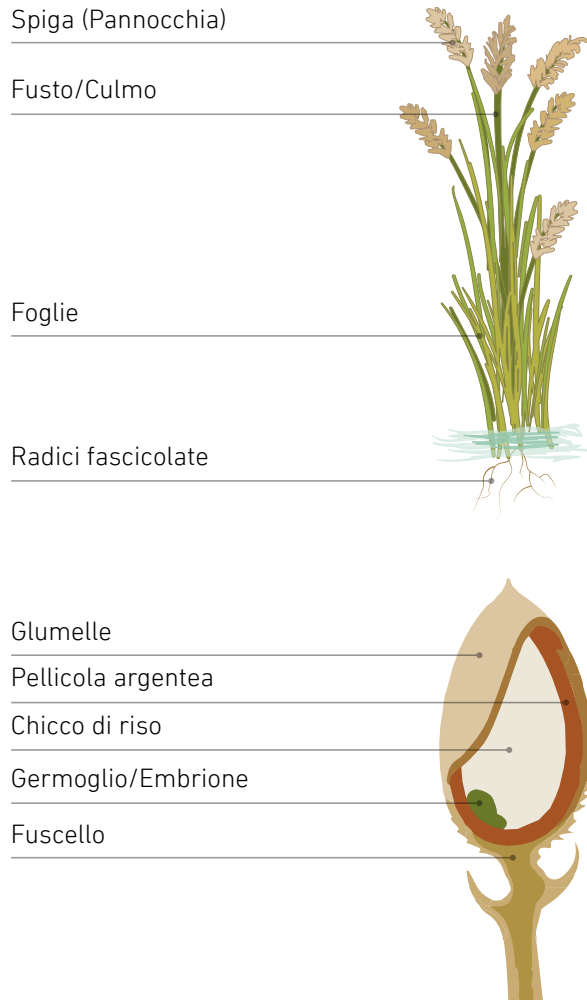


Fig. 4.1 Morfologia della pianta del riso.

4.2 CICLO VEGETATIVO E AMBIENTALE

La coltura del riso richiede specifiche condizioni climatiche, caratterizzate da costanti temperature elevate (12°C per la germinazione e 20°C o superiore per la crescita), inoltre teme le elevate escursioni termiche, assai presenti nel clima della Pianura Padana. Per ovviare a questo problema, il riso è sommerso in acqua (fig. 4.2), che funge da stabilizzatore della temperatura, accumulandola di giorno e rilasciandola la notte.

Prima di procedere alla semina, il chicco di riso è precedentemente immerso in acqua a revitalizzare, così facendo si limita il galleggiamento che potrebbe verificarsi al momento dell'immissione in risaia.

La pianta si adatta bene a tutti i tipi di terreno, tuttavia è necessario che il sottosuolo sia poco permeabile, così da non permettere il drenaggio dell'acqua, mantenendola ad un livello di circa 15-20 cm.

I consumi di acqua per la crescita e lo sviluppo della pianta non sono molto superiori a quelli degli altri cereali ma la necessità di coltivare in sommersione ed in condizioni paludose fanno lievitare la richiesta d'acqua.

Sebbene la pianta richieda 4.000-8.000 m³/ha d'acqua per svilupparsi, la tecnica

di sommersione aumenta il consumo fino a 17.000 m³/ha per i terreni pesanti, raggiungendo anche i 42.000 m³/ha nei terreni sciolti.

Per limitare i consumi d'acqua, a seguito dell'innalzamento delle temperature, sono state sviluppate tecniche di semina in "asciutto" (fig. 4.3), caratterizzate da allagamenti temporanei finché la piantina non si sviluppa (circa 10 cm di altezza), per poi passare alla sommersione continua dopo 30-40 giorni.

La densità varia in base alla tecnica di semina, in acqua si effettua con getto a spaglio di 70 kg a giornata, mentre in asciutto 60 kg a giornata (una giornata piemontese corrisponde a 0,381 ettari).

In Italia, l'epoca ottimale per la semina è compresa tra fine aprile e metà maggio, a seconda della varietà coltivata.

Con temperature ottimali, la fase di germinazione può concludersi dopo 2-3 giorni, mentre con clima sfavorevole si protrae per 2-3 settimane.

In seguito, si avvicendano uno stadio di accrescimento, in cui la pianta emette le prime foglie e una fase di "viraggio"⁴ (25-45 giorni) che si conclude con l'emissione della pannocchia contenente il risone.

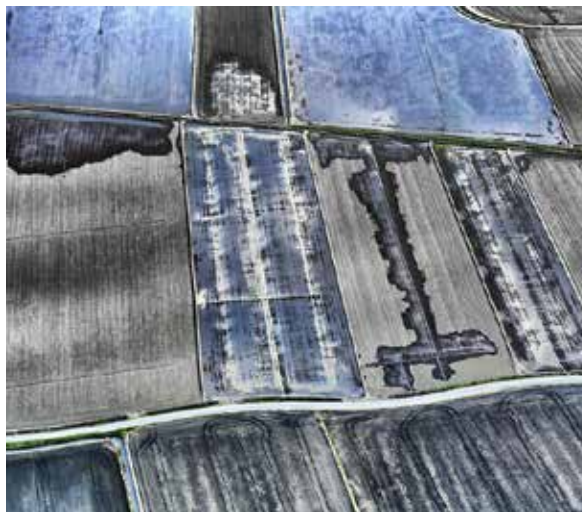


Fig. 4.2 Sommersione delle risaie (Fonte immagine: Ph. Andrea Cherchi).



Fig. 4.3 Semina in asciutto.

La maturazione rappresenta l'ultimo step del ciclo di vita della pianta e si conclude in circa 25-35 giorni (fig. 4.4), in questo periodo si assiste ad un aumento di dimensioni delle cariossidi.

Il ciclo produttivo in campo termina con la raccolta (fig. 4.5), effettuata tra settembre ed ottobre e condizionata dalla varietà di riso, dalle condizioni di umidità della pianta e dalle precipitazioni atmosferiche (Romani, M., 2009).



Fig. 4.4 Riso maturo (Fonte immagine: Ph. Andrea Cherchi).



Fig. 4.5 Raccolta del riso (Fonte immagine: Ph. Andrea Cherchi).

4_ Il cosiddetto viraggio dà inizio alla fase di iniziazione, differenziazione, crescita e spinta verso l'alto della pannocchia, con il viraggio comincia anche il processo di allungamento degli internodi (levata), possibile grazie all'attività dei meristemi intercalari disposti sopra ogni nodo del culmo.

4.3 SOTTOPRODOTTI DEL RISO

La coltivazione del riso garantisce un notevole apporto di sottoprodotti durante il suo ciclo produttivo, molti dei quali richiesti nel settore agricolo ed industriale.

Essi si distinguono in due categorie:

- sottoprodotti derivanti dalla coltivazione;
- sottoprodotti provenienti dalla lavorazione del risone.

I primi sono ricavati dalle operazioni di mietitrebbiatura, mentre i secondi, molto più numerosi, rappresentano lo scarto della lavorazione in essiccatoio del risone (Borasio, L., 1944).

In questa parte saranno descritti solamente i primi, che pur essendo inferiori numericamente rispetto ai secondi, garantiscono maggiori quantità in termini di peso e sono meno riutilizzati e richiesti. I sottoprodotti derivanti dalla coltivazione si suddividono in due tipi: stoppie e paglie. Le stoppie hanno origine dai processi di mietitura, mentre le paglie si ottengono dalla trebbiatura.

In generale, la pianta del riso è tagliata ad un'altezza media di 20 cm, quindi le radici e la restante parte di stelo rappresentano le stoppie.

Attualmente non esistono mezzi per la



Fig. 4.6 Steli lunghi e rotoimballatrice (Fonte immagine: <https://www.viconitalia.it/Fienagione/Carri-autocaricanti-e-rimorchi-per-insilato/Carri-Autocaricanti/Vicon-Feedex-390-422-440>).



Fig. 4.7 Sminuzzata e carro autocaricante (Fonte immagine: <https://terraevita.edagricole.it/wp-content/uploads/sites/11/2016/03/02-rgb.jpg>).

raccolta di questo sottoprodotto che rimane in campo e successivamente interrato tramite i processi primaverili di aratura, per garantire un apporto fisico-chimico di sostanze e sviluppare l'attività microbica preziosa per il terreno.

La paglia rappresenta il maggior sottoprodotto del riso sia in termini di peso che di quantità, tuttavia differisce in base al terreno, poiché dipende da fattori quali: la varietà coltivata, la maturazione, la trebbiatura e l'essiccazione. Si evidenziano due conformazioni:

- Steli lunghi, sono i più indicati per l'imballaggio in rotoballa, perché rilasciati da mietitrebbiatrici sprovviste di trinciapaglia (la rimozione dell'attrezzo permette di limitare i costi del taglio) e necessitano di una rotoimballatrice;
- Sminuzzata a steli corti, è lasciata in campo in andana per essere bruciata o interrata. In seguito, per la raccolta, bisogna munirsi di carro autocaricante.

4.4 RACCOLTA DELLA PAGLIA

La superficie coltivata a riso sul territorio piemontese ammonta a 116.324 ha (dato Ente Nazionale Risi 2016).

La paglia costituisce circa il 50% della massa della pianta di riso, di cui solamente il 60% può essere raccolta dopo la trebbiatura.

Questo tipo di sottoprodotto agricolo presenta alti tassi di umidità al momento del taglio; è stato evidenziato che l'umidità presente sia variabile tra il 25% ed il 70% a seconda dell'andamento climatico successivo alle operazioni di taglio.

Per questo è fondamentale che il clima sia favorevole nei giorni a seguire il taglio per garantire una naturale e necessaria essiccazione (in media 2 giorni di cielo sereno ed alte temperature). Una leggera pioggia di una decina di millimetri, vanifica il tempo di essiccazione trascorso e necessita di ulteriori giorni di bel tempo per le operazioni di raccolta. Nel caso in cui la paglia sia accatastata in "andana"⁵, in seguito alle operazioni di trebbiatura, il tempo che occorre per la raccolta è di circa una settimana di condizioni atmosferiche favorevoli.

È importante considerare che attualmente

5_ Striscia di paglia che si forma sul terreno dopo le operazioni di mietitura del prodotto principale.

non è raccolta e gli agricoltori non sono incentivati a farlo, salvo progetti pilota che ne incentivino il riutilizzo (Sarasso, G., 2007).

La quantità asportabile di sostanza secca è di circa 3 t/ha, per questo a fronte di 116.324 ha di terreno coltivabile, si stima una resa potenziale di 348'972 t di paglia di riso, disponibile sull'intero territorio piemontese.

La situazione delle macchine operatrici non è delle migliori, poiché la maggior parte delle trattrici è datata e la potenza del motore non è sufficiente a supportare una rotoimballatrice; inoltre sono pochi gli agricoltori dotati delle attrezzature necessarie alla raccolta.

Le circostanze si complicano in presenza di terreni pesanti, in cui il peso elevato delle attrezzature genera eventi sfavorevoli. Per risolvere questi problemi, esistono pneumatici contenenti volumi d'aria che garantiscono il galleggiamento sui terreni avversi.

In alternativa, si potrebbe scegliere di gemellare gli pneumatici, ma il codice stradale⁶ fissa dei limiti precisi sulla dimensione massima ammissibile per circolare su strada. Si andrebbe così a

configurare uno scenario improbabile che preveda di montare in campo pneumatici gemellati, con un veicolo di supporto attrezzato con gru per le operazioni di montaggio/smontaggio, che causerebbe un aumento dei costi di raccolta della paglia.

⁶L'articolo 61 del Nuovo Codice della Strada (N.C.d.S) prevede che le macchine agricole che eccedono di 2,55 m in larghezza, di 16,5 m in lunghezza (per trattrice e rimorchio) e di 4 m in altezza, siano da considerare eccezionali. Dunque per circolare su strada necessitano di autorizzazione (art. 104 del N.C.d.S.) da parte del settore competente, a seguito di un versamento con causale "Oneri amministrativi per trasporti eccezionali – macchine agricole".

4.5 FILIERA DI STOCCAGGIO E MERCATO

La maggior parte delle paglie sono bruciate per l'incapacità di sfruttare il sottoprodotto, ("Regolamento per l'abbruciamento delle stoppie del riso⁷") o interrate in risaia per favorire l'apporto nutritivo di sostanza per il successivo periodo di semina (Diagr. 1). Oltre ad una scarsa richiesta di paglia di riso, è necessario considerare che molte delle aziende agricole non dispongono di fabbricati idonei per lo stoccaggio, in quanto:

- Le dimensioni delle strutture non permettono il transito dei mezzi meccanici al loro interno;
- i nuovi fabbricati sono utilizzati come deposito per le attrezzature aziendali;
- i fienili, siti al primo piano sopra le vecchie stalle, sono inutilizzabili per stoccare grandi quantitativi di materiale.

Sono stati riportati i risultati (tab. 1) pervenuti dallo studio "BIOMASSE ED ENERGIA" (2011) condotto da ENAMA (Ente Nazionale Meccanizzazione Agricola) sulla composizione della paglia di riso (dati riferiti alla sostanza secca).

Il dato più significativo riguarda la Silice (SiO_2) contenuta, 130'000 mg/kg, essa costituisce l'impalcato "scheletrico" del

fusto della pianta ed è contenuta anche negli organi fogliari. Questo composto chimico è inadatto a condurre il calore, il che lo rende potenzialmente utile per la produzione di isolanti (attualmente utilizzato negli scudi termici delle sonde spaziali). Inoltre, non può essere utilizzata negli impianti per la produzione di bio-energia, poiché crea problemi ai filtri, tuttavia nuove tipologie di impianti sono in fase di sviluppo.

La paglia (fig.4.8) , disponibile sul mercato, si può trovare sfusa o confezionata in balle, le quali sono compresse e legate (corde di origine vegetale o polipropilene) in differenti formati:

⁷Il regolamento è stato redatto in ottemperanza alla seguente normativa: Art. 19 del D.lgs 267/2000 s.m.i. che attribuisce alle Province le funzioni amministrative sull'intero territorio provinciale in materia di: difesa del suolo, tutela e valorizzazione dell'ambiente e prevenzione delle calamità (lett.a); protezione della flora e della fauna, parchi e riserve naturali (lett.e); rilevamento, disciplina e controllo delle emissioni atmosferiche (lett.g). Art. 7 del D.lgs 267/2000 che attribuisce alle Province il potere di adottare regolamenti nelle materie di propria competenza. Ed Art. 59 del R.D. 18.6.1931, n. 773, "Testo Unico delle Norme di Pubblica Sicurezza", che demanda ai regolamenti locali di stabilire le condizioni per l'eliminazione, mediante combustione, delle stoppie costituenti residui del raccolto stagionale di prodotti agricoli. L'eliminazione tramite combustione della paglia e delle stoppie del riso è consentita sul territorio vercellese: dal 1° marzo al 15 dicembre di ciascun anno; nelle ore diurne, in assenza di vento e nebbia e non oltre le ore 18; ad una distanza superiore di 100 m ai luoghi sensibili (strade, case, boschi, ecc.). La pratica è altresì vietata quando particolari condizioni meteorologiche comportino un rischio per la qualità dell'aria, determinato dall'ARPA. Ai sindaci di ogni Comune è permesso di prescrivere condizioni più restrittive rispetto a quelle descritte dal regolamento.

- rotoballe (1,2x1,5 m – 400/650 kg);
- jumbo balle (1,2 x 1 x 2,4 m – 450 kg);
- balle rettangolari piccole (0,35 x 0,50 x 0,50/1,20 m – 23/30 kg).

È necessario precisare che una sperimentazione avviata dalla società Mossi&Ghisolfi, con sede a Crescentino (VC), ha provato ad utilizzare la paglia di riso in un impianto di trasformazione di biomasse agricole in etanolo, tuttavia i prezzi d'acquisto che la società ha proposto (5 € a rotoballa) non hanno coperto i costi di raccolta, causando la chiusura dell'impianto.

Per quanto riguarda il mercato, nell'ultima annata (2017) è stata inserita la paglia nel listino prezzi della Borsa Merci di Vercelli, con un valore costante per tutto l'anno di 45 €/t.

Le caratteristiche chimico-fisiche della paglia	
Potere calorifico inferiore (MJ/kg)	17 - 18,4
Umidità alla raccolta (%)	20 - 30
Ceneri (%)	10 - 15
Silice (mg/kg)	130.000
Potassio (mg/kg)	13.200
Azoto variazione tipica (%)	0,6 - 1,7
Zolfo variazione tipica (%)	0,07 - 0,22
Cloro variazione tipica (%)	0,07 - 0,9

Tabella. 1 Composizione della paglia di riso (Fonte immagine: <https://www.enama.it/userfiles/PaginaSezione/files/p1c1.pdf> - pagina 12).



Fig. 4.8 Campione di paglia di riso, prelevato dall'azienda agricola "Perinotti Luigi e Giovanni" Lignana (VC) (Ottobre 2017).

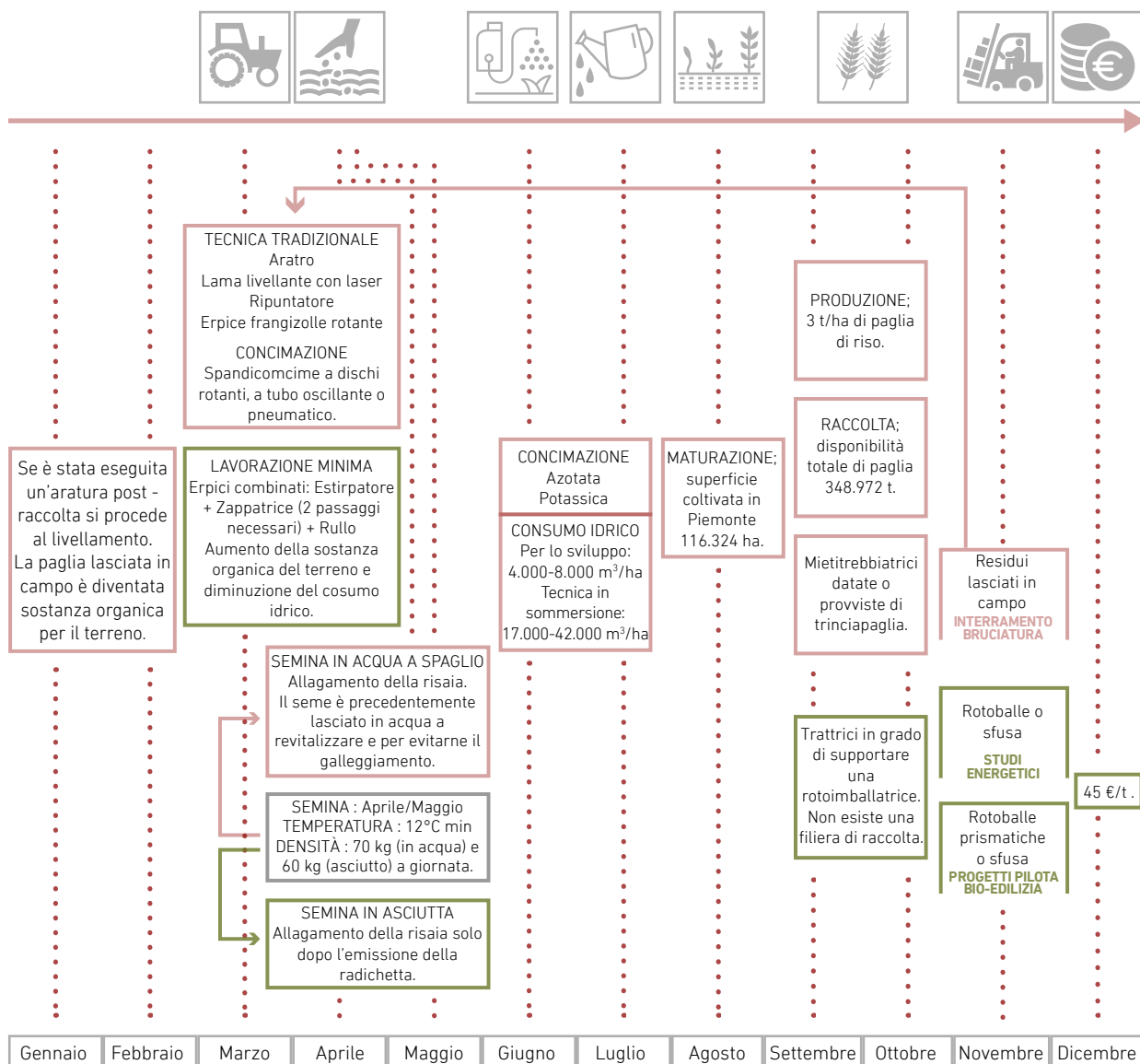


Diagramma 1. Scenario lineare (attuale) della filiera del riso e del sottoprodotto.

4.6 IMPLEMENTAZIONE DELLA FILIERA

In questo paragrafo è stato analizzato un prototipo di filiera di raccolta della paglia di riso, realizzata in collaborazione con il Dott. Agronomo Giuseppe Sarasso, che ha contribuito con Ovest Sesia a redigere uno studio per la "*valutazione delle modalità operative dei cantieri di raccolta della paglia di riso*", per delineare: le quantità effettive asportabili di sostanza secca, i luoghi destinati allo stoccaggio e il valore monetario del raccolto (Diagr. 2).

Per quantificare la reale disponibilità di sottoprodotto, è stata stabilita una metodologia operativa di reperimento che ha previsto una raccolta ogni due anni, per garantire un normale ripristino della sostanza organica del terreno.

La quantità di paglia prodotta è identica alla quantità di risone raccolto (7-8 t/ha), con un rapporto di circa 1:1.

Tuttavia, sulla base di ricerche sperimentali, non è possibile raccogliere tutta la sostanza che si produce, per questo si stima per difetto, di poter ricavare circa 3 t/ha di sostanza secca.

In seguito a queste considerazioni, è risultato che la disponibilità annuale sul territorio piemontese ammonta a:

$$116.324 \text{ (ha)} \times 3 \text{ (t/ha)} = 348.972 \text{ (t)} : 2 \\ \text{(anni)} = 174.486 \text{ t}$$

Per valutare il monte ore disponibile per la raccolta, l'agronomo Sarasso ha analizzato i dati forniti dall'ARPA sulle oscillazioni giornaliere dell'umidità relativa e delle temperature, in presenza e in assenza di piogge.

Lo studio è stato effettuato nel periodo compreso fra settembre ed ottobre, in un range di 5 anni, aggiornato alle stagioni comprese tra il 2013 ed il 2017 (Tab. 2), dove sono state evidenziate le pessime annate per la raccolta a causa degli eventi atmosferici (2013-2015) ed un'annata straordinaria di clima torrido e poco piovoso che permetterebbe di immagazzinare ingenti quantitativi di sottoprodotto (2017). Come ipotesi reale, sarà considerato un tempo medio di essiccazione di 2 giorni in andana a seguito di un evento piovoso (evidenziati in arancione in tabella). Inoltre, sono stati eliminati dal conteggio delle ore utili la domenica e dimezzato il lavoro il sabato, sebbene gli agricoltori sarebbero disposti a lavorare a tempo pieno entrambi i giorni. E' stato evidenziato un tempo di raccolta complessivo, nell'arco dei due mesi,

di 162 ore, 87 per l'utilizzo della rotopressa e 75 per il trasporto delle rotoballe.

Lo scenario ideale ha previsto che ogni azienda agricola provveda a vendere la paglia in campo, affidando le fasi di imballaggio e raccolta ai contoterzisti, i quali possono spostare la rotoimballatrice da un campo all'altro a seconda delle richieste. Tuttavia queste operazioni comportano un calo produttivo del 15% dovuto al trasferimento dell'attrezzatura durante le ore utili di lavoro.

Con l'impiego di una singola macchina ed un quantitativo di paglia disponibile di 174.486 t, una rotoimballatrice (mod. OMAS RP 150/V) riesce a confezionare 10 t/h, corrispondenti a 20 rotoballe da 0,5 t, mentre un carro omologato alla circolazione su strada ne trasporta 22 in un'ora.

Su 87 ore utili all'anno necessarie per

svolgere le operazioni di raccolta, si producono 870 t, da cui è stato sottratto il 15% per ottenere una produzione di circa 739,5 t, corrispondenti a:

$$N^{\circ} \text{ rotoballe} = 739,5 \text{ t (produzione annua)} / 0,5 \text{ t (peso di una rotoballa)} = 1.479$$

È necessario considerare che la quantità raccolta è proporzionale alle macchine impiegate in campo, quindi gli elevati costi iniziali per l'acquisto dell'attrezzatura (dilazionabili nel tempo) comportano una maggiore produttività.

Il centro di stoccaggio dev'essere dimensionato secondo la necessità di paglia e collocato nelle vicinanze dei campi per permettere il rapido trasporto con trattatrice dal luogo di raccolta. Infine, le rotoballe possono essere movimentate su autoarticolato.

ANNO	SETTEMBRE						OTTOBRE																									ORE UTILI											
	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		26	27	28	29	30	31					
2013	10	10	10	5					10	10												10	10	10	5																	90	
2014	10	10	5		10	10				5								5					10	10	5		10	10	10	10					10	10	10	10	10		170		
2015	10	5		10	10	10	10								10												10	10	10	5		10	10									10	130
2016		10	10	10	10	10	10	5				10	10	10	5													10	10	10	5								5		10	140	
2017	10	10	10	10	10	5		10	10	10	10	10	5		10	10	10	10	5		10	10	10	10	10				10	10	10	10	5								10	10	280
																																					162 MEDIA						

Tabella 2: Calcolo delle ore utili alla raccolta nei mesi di Settembre e Ottobre.

L'azienda Sarotto Group si colloca ad una distanza di 95 km rispetto a Vercelli e 115 km da Novara, le due province piemontesi a più alta produzione di riso (fig. 4.9).

La grandezza del deposito è commisurata alla quantità di rotoballe e al loro ingombro (circa 0,6 m²). Vista l'incertezza climatica, è consigliabile sovradimensionare il magazzino (circa +50%) per massimizzare l'approvvigionamento nelle annate favorevoli.

Inoltre, per garantire le normali manovre di carico/scarico senza intralci, ogni deposito dev'essere dotato di piazzale di manovra con un'area minima di 625 m² (25x25 m), che permetta l'accesso anche ad autoarticolati (fig 4.10).

A fronte di una produzione annua di 739,5 t (utilizzando una singola rotopressa), è stato stimato un valore di 33.277,5 €.



Fig. 4.9 Superfici coltivate a riso rispetto a Narzole.



Fig. 4.10 Trasporto e stoccaggio (Fonte immagine: <https://www.panizzolotrasporti.it/>).

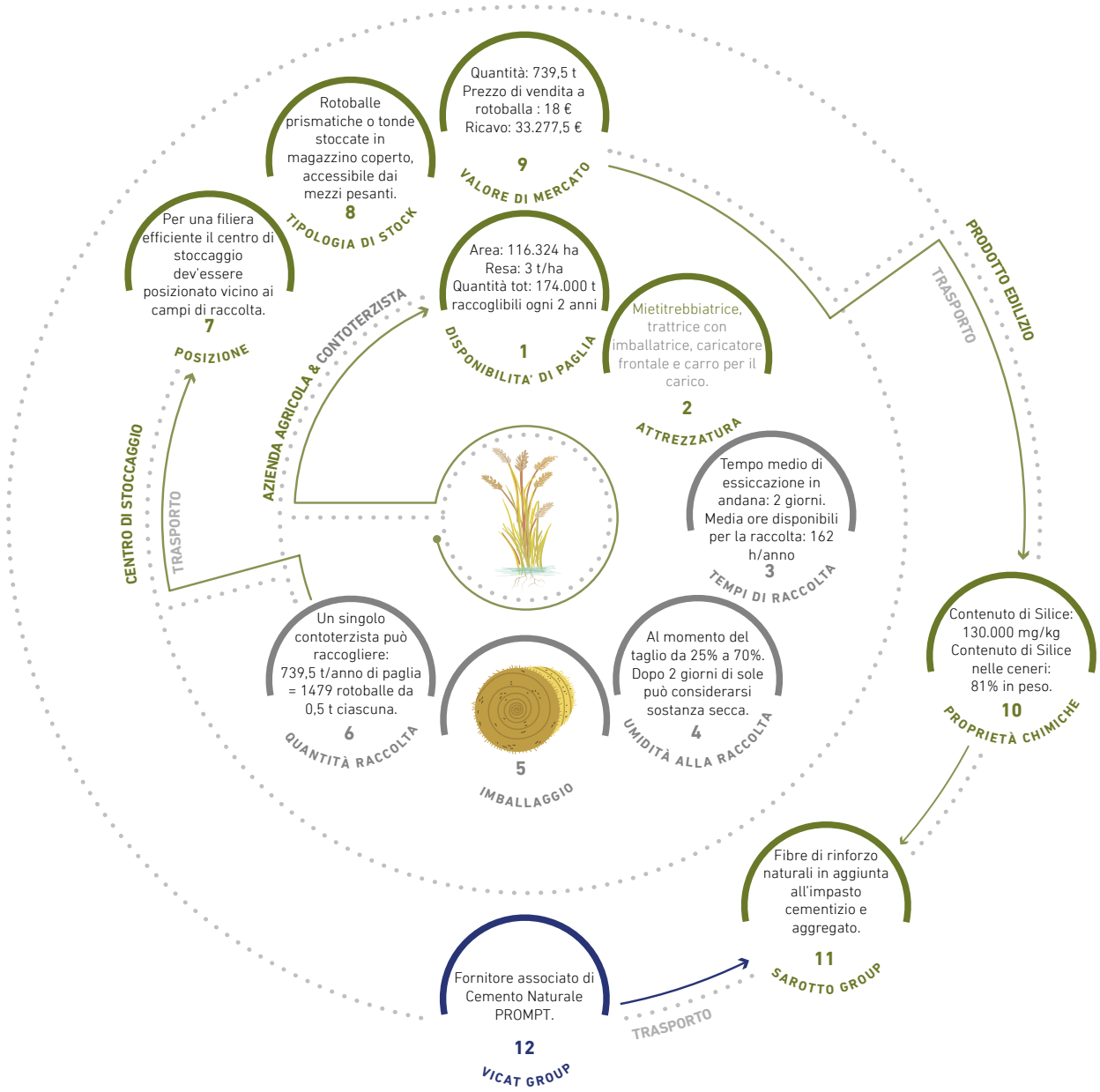


Diagramma 2. Scenario circolare della paglia di riso.



5 FILIERA DEL FRUMENTO

5.1 STORIA E MORFOLOGIA DELLA PIANTA

Il frumento ha rappresentato la principale fonte di sostentamento nella storia dei popoli, fino a segnare l'attuale assetto geografico, sociale e politico del pianeta.

La grande crescita demografica nel neolitico, obbligò i primi agricoltori a incrementare la produzione alimentare, attraverso la domesticazione delle piante selvatiche; le mutazioni spontanee e gli incroci naturali tra specie diverse, diedero origine ai primi campi di grano.

Gli studi storici condotti e i reperti rinvenuti, testimoniano l'importanza del frumento nell'antichità, menzionato anche nei testi biblici, per la realizzazione del pane o abbrustolito sul fuoco per ricavare la granella (Viggiani, P., 2009). I termini "grano" o "frumento" sono associabili alla parola latina *Triticum*¹ pianta appartenente alla famiglia botanica delle *Graminacee*².

Il grano si distingue in:

- Tenero (*Triticum aestivum*), giunto in Europa dal Medio Oriente;
- duro (*Triticum durum*), originario dell'Africa centro-orientale, nell'area dell'attuale Etiopia (Valli, R., Corradi, C., Battini, F., 2005).

L'apparato radicale del grano è di tipo

fascicolato, formato da radici che si dispongono a raggiera intorno al fusto nei primi 25-35 cm e si sviluppano fino a 70-80 cm, tuttavia raggiungono profondità di 2 m. Si possono distinguere radici primarie, originate dal seme, o radici secondarie (fig. 5.1) che si formano alla base del culmo e formano la massa del sistema radicale. Lo sviluppo complessivo dell'apparato dipende anche dalle condizioni ambientali in cui cresce la pianta.

Il culmo è costituito da 5-8 nodi, costituiti da un tessuto spugnoso e da internodi², cilindrici e vuoti. Le vecchie varietà di frumento superavano 1,5 m di altezza e con l'azione del vento o della pioggia si aggrovigliavano, ostacolando il passaggio dell'aria. Per evitare questi fenomeni, il miglioramento genetico ha ridotto le dimensioni delle varietà attuali, tra i 70 e i 100 cm.

L'infiorescenza del grano è una spiga ed è composta da: fiori, cariossidi o semi e spighetto.

Le spiglette sono piccole infiorescenze

1_ Significa "tritare" la granella per ottenere la farina.

2_ Della quale fanno parte anche il mais, l'orzo, il riso e la segale, detti comunemente cereali.

3_ Porzione compresa tra due nodi.

secondarie formate da gruppetti di cariossidi e di fiori; gruppi di spighe (fig. 5.2) tendono a formare infiorescenze di grado superiore, le spighe (Viggiani, P., 2009).

Il frutto o seme del grano (fig. 5.3), composto da: crusca, endosperma e germe, si chiama cariosside e si distingue per grandezza in base alla tipologia di grano: per il frumento tenero il peso di mille semi è pari a 35-45 g, mentre per il frumento duro il peso di mille semi corrisponde a 40-50 g (Valli, R., Corradi, C., Battini, F., 2005).

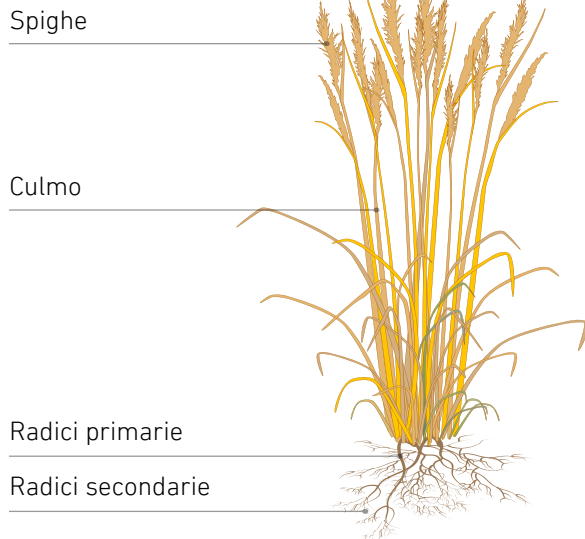


Fig. 5.1 Morfologia della pianta del frumento.

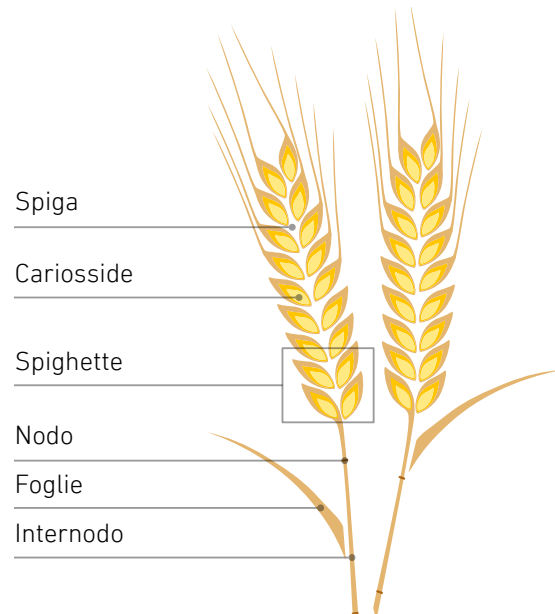


Fig. 5.2 Morfologia della spiga.

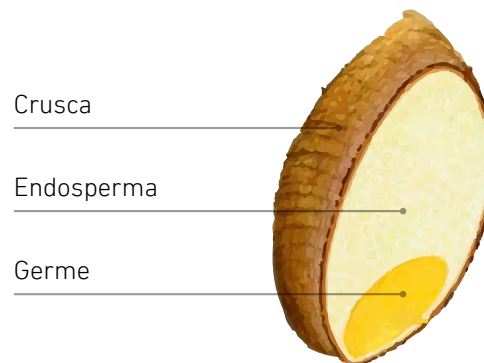


Fig. 5.2 Morfologia della cariosside o seme.

5.2 CICLO VEGETATIVO E AMBIENTALE

Il clima ideale per la coltivazione del grano e degli altri cereali autunno-vernini è quello temperato. Il periodo della semina, in Italia, coincide tra la fine di ottobre e l'inizio di dicembre, invece nell'Europa centro-settentrionale, in seguito agli inverni più gelidi, nel periodo primaverile. Le esigenze termiche sono crescenti per ogni fase vegetativa con temperature che oscillano dai 2-3°C durante la *germinazione*⁴ (fig. 5.4) e *accestimento*⁵ (fig. 5.4), ai 20°C per la *maturazione*³, periodo in cui il seme modifica il suo aspetto e la sua forma fino al momento della raccolta, verso l'inizio dell'estate. Durante la prima fase di crescita, il grano tenero può sopportare temperature di -20 °C, mentre nel periodo della fioritura le temperature inferiori a 0°C possono causare la morte dei fiori.

A differenza di quello tenero, il grano duro è più sensibile ai danni provocati dalle basse temperature, anche se il miglioramento genetico ha permesso la coltivazione nelle regioni del Nord Italia. Anche il terreno è un fattore rilevante nella crescita della pianta, le produzioni più elevate si raggiungono in terreni argillo-limosi e drenati, per evitare l'*asfissia radicale*⁷ (Valli, R., Corradi, C., Battini, F., 2005).



Fig. 5.4 Germinazione (Fonte immagine: <https://www.erbosteriadeifrati.it/glossary/germe-di-grano/>).



Fig. 5.5 Accestimento (Fonte immagine: <http://www.ilnuovoagricoltore.it/pac-la-coltura-diversificante-si-stabilisce-dal-1-a-prile-al-9-giugno-ma-con-quali-criteri-per-evitare-errori/>).

4_ Dopo la semina, in condizioni di umidità e di temperatura ottimali, iniziano a rompersi gli involucri e a formarsi le prime piumette.

5_ Emissione di nuovi germogli che porterà alla formazione di più spighe.

6_ La pianta necessita di un clima caldo e poco piovoso, per cambiare tonalità dal verde al tipico colore paglierino.

7_ L'eccessiva presenza di acqua nei terreni argillosi e compatti, toglie aria alle radici della pianta facendola marcire.

5.3 RACCOLTA DELLA PAGLIA

Il grano duro è coltivato nell'Italia centro-meridionale, in particolare in Puglia e Sicilia; il grano tenero raggiunge produzioni massime nell'Italia settentrionale: Emilia Romagna, Piemonte, Lombardia e Veneto. La superficie coltivata a grano tenero sul suolo piemontese è di 84.292 ha (dati ISTAT del 2017) distribuita maggiormente tra le province di:

- Alessandria, 35.262 t/ha;
- Torino, 18.964 t/ha;
- Cuneo, 17.513 t/ha;
- Asti, 9.212 t/ha;
- Vercelli e Novara, 3.081 t/ha.

Per calcolare la quantità di paglia, si prende come riferimento la produzione di granella e si utilizzano due modi (Valli, R., et al, 2012):

- indice di raccolto (Harvest Index), esprime in % il rapporto tra il peso di ciò che ha prodotto la pianta (granella) e il peso della biomassa totale. Questo parametro tiene conto della sostanza secca e varia tra il 50% e il 60%, a seconda del numero di piante coltivate in campo;
- il rapporto tra la granella e la paglia che varia tra 1 e 1,2 (Valli, R., Corradi, C., Battini, F., 2005);

Sebbene la produzione di paglia sia uguale alla resa in granella, si precisa che esistono varietà diverse di frumento le cui piante hanno altezze comprese tra 70 cm e 200 cm. L'agronomo Visca (Confagricoltura Alessandria) stima una quantità asportabile di sottoprodotto pari a 4 t/ha, con un'umidità inferiore al 14%. Rispetto alla paglia di riso, quella di grano necessita di un tempo di essiccazione minore, perché raccolta nel periodo di Giugno e Luglio.

Il totale di residuo asportabile, sul territorio regionale, sarà così quantificato:

$$84.292 \text{ (ha)} \times 4 \text{ (t/ha)} = 337.168 \text{ t.}$$

Inoltre, non essendo una coltura a sommersione come il riso, il parco macchine impiegato, seppur identico, non necessita di pneumatici gemellati per lo spostamento in campo.

5.4 FILIERA DI STOCCAGGIO E MERCATO

La paglia di frumento è tutta impiegata come lettiera per il bestiame, dopodiché al termine del suo utilizzo è destinata ai digestori anaerobici a umido (sostanza secca inferiore al 10-12%) insieme agli effluenti zootecnici.

Secondo il *'Rapporto Tecnico Enea'* (Zimbardi, F., et al, 1995) la paglia di grano contiene un'alta percentuale di lignina, cellulosa ed emicellulosa (tab.1), tuttavia l'impiego nel settore delle biomasse è possibile solo per impianti superiori a 10 MW (ENAMA, 2011), a causa della silice presente nelle ceneri in fase di combustione (tab.2) e dell'acido cloridrico (HCl) formato dalla combinazione tra il cloro ed il vapore acqueo che tende a corrodere le superfici degli impianti di piccole dimensioni.

Nel territorio piemontese, la raccolta e lo stoccaggio dipendono dalla grandezza delle aziende zootecniche e dal numero di macchinari impiegati. La situazione attuale prevede tre scenari (Diagr. 1):

- Le grandi aziende agricole possiedono i mezzi per la raccolta e le strutture per l'immagazzinamento;

- i contoterzisti raccolgono la paglia per le piccole aziende agricole e la scaricano nei fienili. L'agricoltore valuta i mercati e decide di vendere le rotoballe o le balle

La composizione della paglia	
Cellulosa (% peso)	34,33
Emicellulosa (% peso)	26,3
Lignina (% peso)	21,6

Tabella. 1 Composizione della paglia di grano (Tratta da F. Zimbardi, G. Cardinale, M. Demichele, F. Nanna, D. Viaggiano: *'La lignina: una risorsa da valorizzare'*; ENEA - Dipartimento Energia - Centro Ricerche Trisaia - 75025 Policoro (MT), 1995, pp 8).

Le caratteristiche chimico-fisiche della paglia	
Potere calorifico inferiore (MJ/kg)	17,5 - 19,5
Umidità alla raccolta (%)	10 - 20
Ceneri (%)	2 - 10
Silice (mg/kg)	1.000 - 20.000
Potassio (mg/kg)	2.000 - 26.000
Azoto variazione tipica (%)	0,2 - 0,6
Zolfo variazione tipica (%)	< 0.05 - 0.2
Cloro variazione tipica (%)	< 0.01 - 1.2
Rame variazione tipica (%)	1-10

Tabella. 1 Caratteristiche della paglia di grano (Fonte immagine: <https://www.enama.it/userfiles/PaginaSezione/files/p1c1.pdf> - pagina 11).

8_ Gli animali sminuzzano la paglia pestandola e adempiendo ai loro bisogni. Il prodotto risultante è ideale per essere inserito negli impianti.

- prismatiche ai commercianti di paglia;
- Il residuo viene venduto in andana, l'utilizzatore finale preleva il sottoprodotto direttamente dal campo con gli autotreni.

Il prezzo di vendita è influenzato dalla stagionalità e dalle regole del mercato, le quotazioni sulla Borsa Merci di Alessandria nel periodo invernale (dicembre 2017) sono di 60-65 €/t per le rotoballe (diametro 150-160 cm, larghezza 120 cm) di peso 350-450 kg (fig. 5.6), mentre per le prismatiche (122x129x240 cm) di peso 400-550 kg il prezzo oscilla tra 70-75 €/t (fig. 5.7).

Nel periodo della trebbiatura (luglio 2017), aumentando l'offerta, scende il valore di mercato. Le quotazioni sono di 30-35 €/t per le rotoballe e di 40-45 €/t per le prismatiche.

Inoltre, sono esclusi dal listino prezzi i costi legati al trasporto.



Fig. 5.6 Rotoballa (Fonte immagine: <http://www.irpinianews.it/lutilizzo-della-paglia-dallagricoltura-alledilizia-se-ne-discute-a-fontanarosa/>).



Fig. 5.7 Balle prismatiche (Fonte immagine: <https://lynnwoolf.files.wordpress.com/2012/08/wall-of-squares1.jpg>te-a-fontanarosa/).

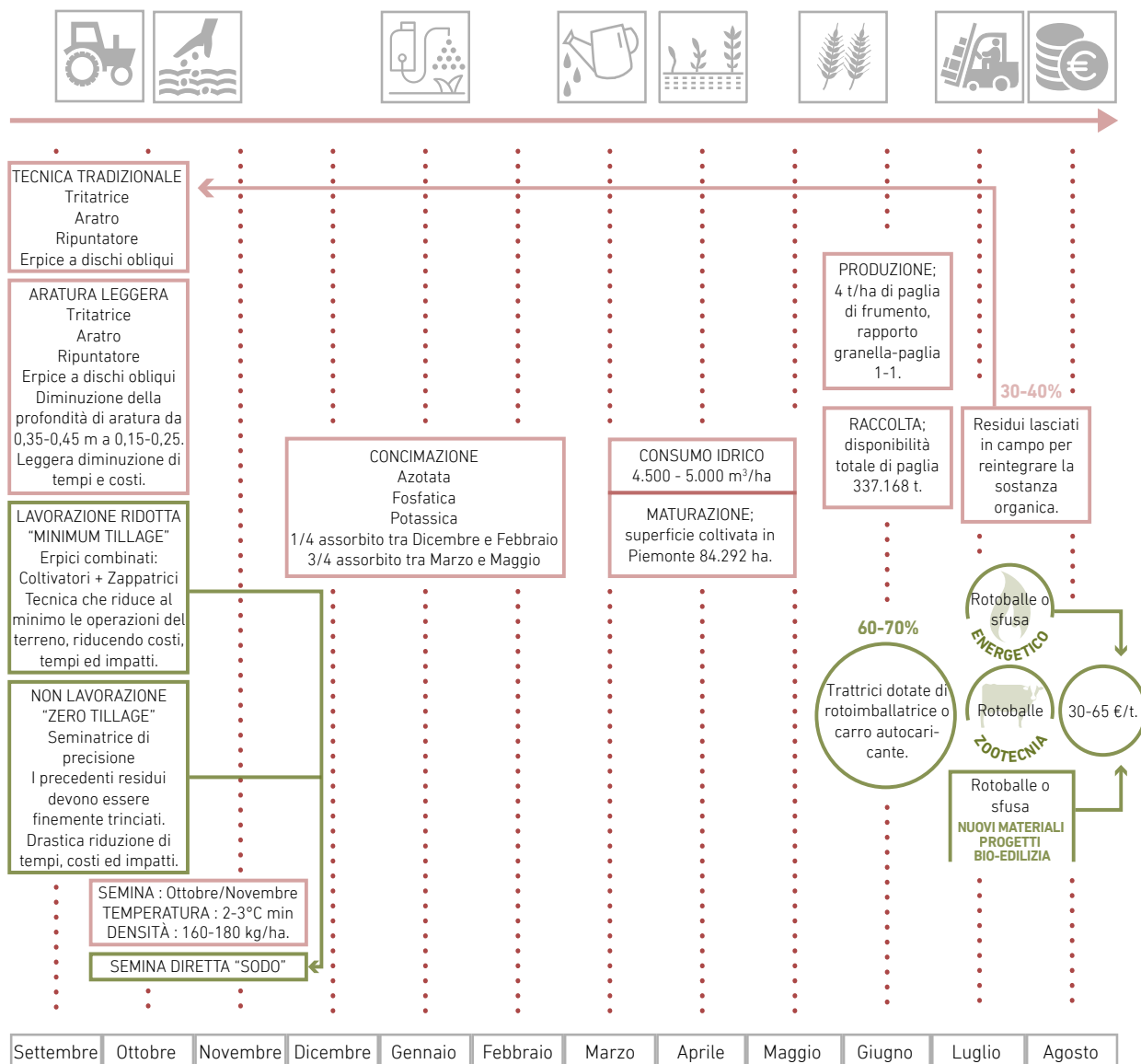


Diagramma 1. Scenario lineare (attuale) della filiera del frumento e del sottoprodotto.

5.5 IMPLEMENTAZIONE DELLA FILIERA

Questo paragrafo è stato realizzato in collaborazione con l'agronomo Marco Visca, di Confagricoltura Alessandria.

Si ipotizzerà uno scenario di filiera ideale per calcolare: la quantità di sottoprodotto asportabile, i luoghi destinati allo stoccaggio e il valore monetario del raccolto (Diagr. 2), fattori che garantiscono un potenziale approvvigionamento di paglia al prototipo ECOFFI.

Per quantificare la reale disponibilità di sostanza secca, si prevede una raccolta annuale calcolando il monte ore di lavoro dei macchinari impiegati in campo e degli operatori, in funzione delle condizioni meteorologiche per un range di 5 anni (Tab. 2). In un'ottica di filiera corta, sono stati analizzati i dati reperiti dall'ARPA per la città di Alessandria (caso studio

da cui ottenere una media lavorativa per calcolare successivamente la disponibilità piemontese), distante circa 87 Km da Narzole (fig. 5.8).

Sebbene la pratica preveda una media di 12 ore lavorative nei mesi della trebbiatura, ne sono state conteggiate 10 giornaliere e 5 inerenti alla giornata di sabato, escludendo la domenica (rosso). Inoltre, è previsto un giorno di inattività per l'essiccazione della paglia, a seguito di condizioni meteorologiche avverse (un giorno di essiccazione per ogni giornata piovosa), scartando gli eventi piovosi al di sotto di 0,2 mm.

In virtù di queste considerazioni, si evidenzia una media di raccolta annuale pari a 224h, di cui 120 per l'utilizzo della rotopressa e 104 per la raccolta.

ANNO	GIUGNO						LUGLIO																															ORE UTILI		
	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
2013	10	10	10				10	10	10	10	10	5		10	10	10	10	10	5		10	10	10	10	10	5		10	10	10						10				235
2014	10						10	10	10				10	10	10	10	10	5			10	10	10	10	5		10	10	10											170
2015	10	10	10		10	10	10	10	10	5		10	10	10	10	10	5		10	10	10	10	5		10	10	10	10	5				10	10	10	10			290	
2016	5		10	10	10	10	10	5		10	10	10	10	10	5		10	10				5		10	10	10	10	5		10	10	10							225	
2017		10	10	10						10	10	10	5		10	10					5		10	10	10	10	5		10	10	10	10	10	5					200	
																																					224 MEDIA			

Tabella 2: Calcolo delle ore utili alla raccolta nei mesi di Giugno e Luglio.

Lo scenario ideale (come per la filiera del riso) prevede la collaborazione con un contoterzista che utilizzi una singola rotoimballatrice e trattrice provvista di caricatore frontale con una perdita del 15% sulla raccolta, dovuta allo spostamento dell'attrezzatura da un campo all'altro. Se una rotoimballatrice può raccogliere 10 t/h (20 rotoballe da 0,5 t), su 120 h disponibili all'anno, è possibile confezionare 1.200 t, togliendo il 15% si ottiene una produzione annua di 1.020 t. Il calcolo per ottenere il numero di rotoballe è il seguente:

$$N^{\circ} \text{ rotoballe} = 1.020 \text{ t (produzione annua)} / 0,5 \text{ t (peso di una rotoballa)} = 2.040$$

Nonostante la variazione di prezzo, dettata dalla stagionalità, si impone un valore di mercato medio di 50 €/t, corrispondete a:

$$\text{Valore medio della produzione annua} = 1020 \text{ t (produzione annua)} \times 50 \text{ €/t} = 51.000 \text{ €}$$

A differenza della filiera del riso, che necessita della realizzazione di un apposito centro di stoccaggio, quella del frumento è una realtà già consolidata, quindi l'azienda Sarotto s.r.l può rifornirsi direttamente dai

centri di immagazzinamento (il più vicino è situato a 31 km⁹).

In conclusione, la filiera della paglia di frumento ha una produzione per ettaro (4 t/ha) migliore rispetto a quella del riso (3t/ha), tuttavia il 60-70% è destinata sia alle cooperative agricole che ai biodigestori anaerobici, perciò il settore edilizio non potrebbe disporre di ingenti quantità di sottoprodotto.

In virtù delle considerazioni fatte, nella fase sperimentale si opterà di utilizzare come aggregato nell'impasto cementizio il tutolo di mais e la paglia di riso.



Fig. 5.8 Superfici coltivate a frumento rispetto a Narzole.

⁹ Centro di stoccaggio "Commercio Foraggi Padoan s.r.l." di Cavallerleone (CN).

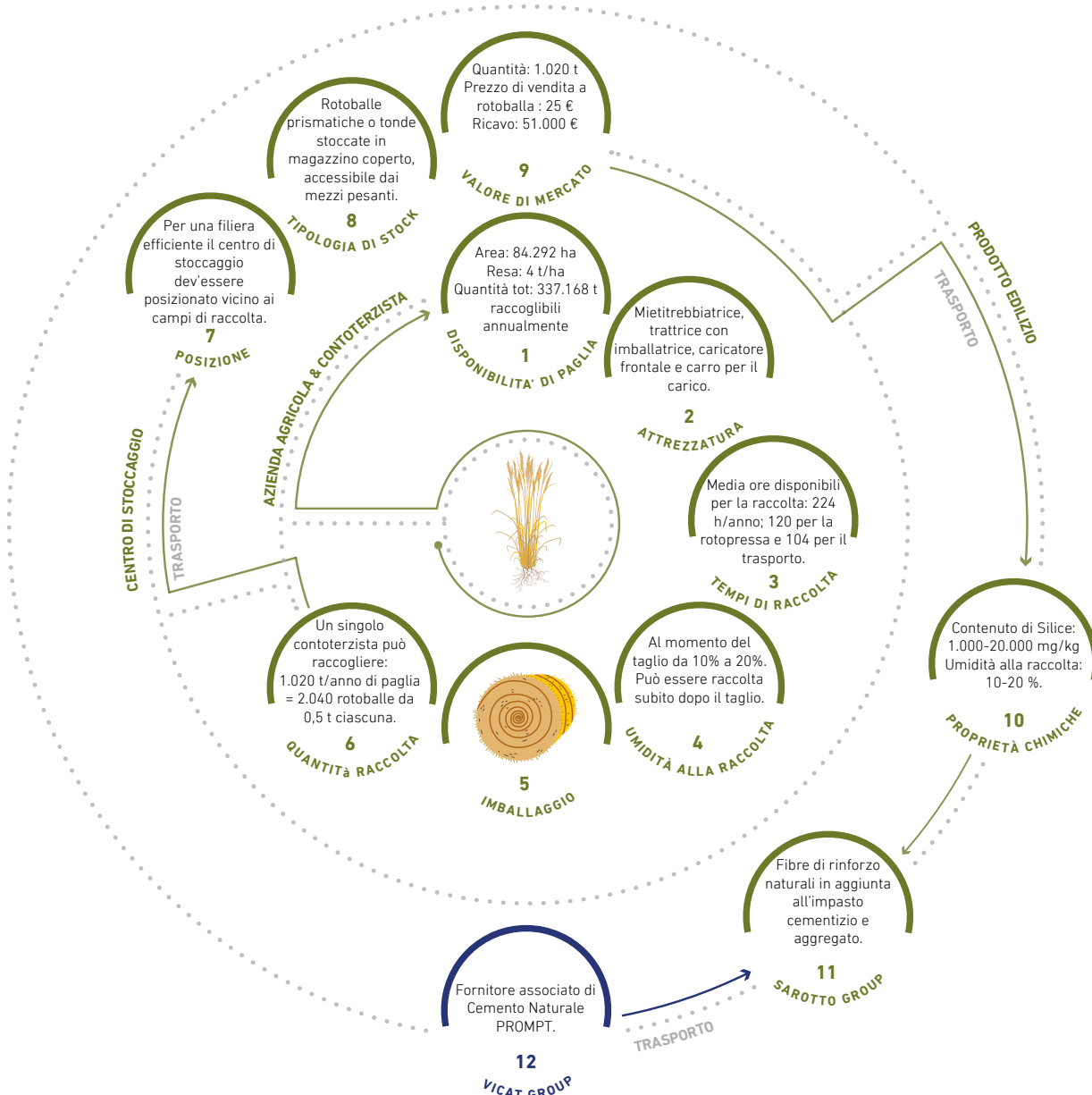


Diagramma 2. Scenario circolare della paglia di frumento.

PARTE III

VERSO UN NUOVO COMPONENTE PER L'EDILIZIA

ATTIVITÀ SPERIMENTALE



6.1 SELEZIONE DELLE MATERIE PRIME

La ricerca applicata e le sperimentazioni condotte, che prevedono il reimpiego di scarti della lavorazione agricola nella produzione di materiali e componenti per l'edilizia, è piuttosto ampia.

Per quanto attiene le sperimentazioni sul riutilizzo dei residui del mais, vale la pena citare (paragrafo 1.3) gli studi condotti da: Pinto et al. (2011), Faustino et al. (2014) e in particolare dal gruppo di ricerca (Carbonaro et al. 2010-2013) del Dipartimento di Architettura e Design (DAD) e del Dipartimento di Energia (DENERG) nell'ambito del progetto "S²". Di conseguenza, il nostro lavoro di tesi si inserisce nel solco delle attività che il Politecnico di Torino ha diretto negli ultimi 5 anni, perciò si intende valutare le potenzialità del riuso degli scarti agricoli nel confezionamento di prodotti.

Il presente paragrafo è dedicato al reperimento delle materie prime utilizzate per la formulazione dei mix design nelle fasi di attività e monitoraggio.

La volontà di impiegare un legante naturale come il Prompt, anziché il Portland, scaturisce dalle considerazioni sugli impatti ambientali affrontati nei capitoli precedenti (paragrafo 1.1.3), invece tra gli aggregati

vegetali sono stati selezionati il tutolo di mais (al naturale e industrializzato) e la paglia di riso, perché: la produzione locale garantisce un approvvigionamento su larga scala, i residui colturali non sono valorizzati, hanno un basso valore commerciale e infine è necessario sfruttare al massimo tutta la pianta della coltura in virtù degli elevati consumi idrici (specialmente il riso). Nei paragrafi successivi, saranno trattate tutte le fasi di attività e monitoraggio che seguono un processo iterativo per ottenere delle miscele efficaci tra il legante Prompt e gli aggregati vegetali.

Gli step, per identificare un mix design coeso, sono suddivisi a seconda della tipologia di aggregato utilizzato all'interno dell'impasto cementizio.

Il primo step permette di analizzare, nei laboratori francesi di Vicat, il comportamento del tutolo al naturale (con e senza sfalci di potatura) combinato al legante.

Da questa esperienza sorgono una serie di considerazioni affrontate nel secondo step, che prevede l'impiego di un sottoprodotto industrializzato (granulometria calibrata) per il confezionamento di campioni presso l'azienda Sarotto e il laboratorio LASTIN.

Le problematiche riscontrate consentono di introdurre nuovi elementi nel terzo step, in cui le fibre (paglia di riso) sono impiegate per ottenere un mix design coeso su cui effettuare le prove di resistenza meccanica (LASTIN) e termica (DENERG).

6.2 PRIMA SERIE DI ATTIVITÀ E MONITORAGGIO: TUTOLO AL NATURALE

Il presente paragrafo, in collaborazione con Vicat, valuta le potenzialità del tutolo al naturale per il confezionamento di calcestruzzi, sulla base di prove empiriche condotte nello stabilimento di Voreppe (Grenoble).

In questa fase di attività, sono stati reperiti in data 4 Aprile 2018 ($T_{\text{media}} = 8,1$ °C; $UR_{\text{media}} = 99\%$), presso la Cooperativa Speranza di Candiolo (fig.6.1), circa 90 kg di tutolo trinciato con sfalci di potatura e con un'umidità del 41% circa. Si precisa che, è stato possibile reperire il residuo nel momento dell'apertura della trincea dedicata, poiché il materiale deperisce velocemente a contatto con l'aria e l'azienda ha la necessità di disfarsene in 7 giorni. Il residuo ha mantenuto le stesse



Fig. 6.1 Stabilimento Cooperativa Speranza di Candiolo.

caratteristiche della raccolta, poiché le operazioni di compattamento con i macchinari agricoli (per eliminare l'aria) e la copertura con film plastici hanno evitato fenomeni di fermentazione e marcescenza durante la conservazione in trincea (paragrafo 3.4).

Successivamente il sottoprodotto è stato stoccato nelle province di Asti e Vercelli, sebbene la fermentazione dei carboidrati da parte dei batteri lattici, gli ha conferito un odore acre. Per un impiego di questo componente vegetale, in una miscela cementizia, è stato necessario procedere con un'essiccazione secondo il metodo tradizionale (paragrafo 3.3).

La porzione trasportata ad Asti (51,4 kg) è stata conservata in un luogo coperto, in seguito alle avverse condizioni atmosferiche dal giorno 04/04 ($T_{\text{media}} = 8,7 \text{ }^\circ\text{C}$; $UR_{\text{media}} = 99\%$) al giorno 16/04 ($T_{\text{media}} = 16,1 \text{ }^\circ\text{C}$; $UR_{\text{media}} = 68\%$), in cui il tutolo è stato rimestato quotidianamente (3 volte al giorno) per evitare fenomeni di marcescenza degli strati sottostanti (fig.6.2). Con il miglioramento delle condizioni meteorologiche, dal 17/04 ($T_{\text{media}} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$; $UR_{\text{media}} = 69\%$) al 01/05 ($T_{\text{media}} = 12,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $UR_{\text{media}} = 76\%$), il materiale è stato spostato in luogo soleggiato (fig. 6.3).



Fig. 6.2 Stoccaggio del tutolo ad Asti.



Fig. 6.3 Essiccazione del tutolo ad Asti.

A seguito della procedura di essiccazione, sono state effettuate tre pesate con bilancia Beurer BF 700 (portata max 150 kg \pm 0,1 kg) da cui è stata riscontrata una massa media di 36,4 kg, con una perdita di 15 kg rispetto al peso iniziale. Al fine di determinare la percentuale di umidità finale, successiva alla fase di essiccazione, è stata utilizzata la seguente formula:

$$Uf = 100 \times ((\text{Peso trinciato umido} - \text{Peso trinciato essiccato}) / \text{Peso trinciato umido}).$$

E' stato ottenuto un valore di umidità pari a:

$$Uf = 100 \times ((51,4 \text{ kg} - 36,4 \text{ kg}) / 51,4) = 29\%$$

Per valutare il comportamento del tutolo trasportato a Vercelli (38,6 kg), a parità di umidità relativa e temperatura media dell'aria rispetto ad Asti, è stata adottata una metodologia che prevede lo stoccaggio in un luogo chiuso (fig. 6.4), per un arco temporale più lungo, dal 04/04 ($T_{\text{media}} = 8,5 \text{ }^\circ\text{C}$; $UR_{\text{media}} = 99\%$) al 20/04 ($T_{\text{media}} = 19,9 \text{ }^\circ\text{C}$; $UR_{\text{media}} = 62\%$), inoltre il tutolo è stato rimestato con meno frequenza (1 volta al giorno). Questo trattamento ha causato la marcescenza degli strati sottostanti e una perdita del 17% circa di materiale vegetale (fig. 6.5), perciò la restante parte (32 kg)



Fig. 6.4 Stoccaggio del tutolo a Vercelli.



Fig. 6.5 Marcescenza del tutolo.

è stata trasferita all'esterno (fig. 6.6) e lasciata essiccare al sole dal giorno 21/04 ($T_{\text{media}} = 20,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $UR_{\text{media}} = 58\%$) al giorno 1/05 ($T_{\text{media}} = 14,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $UR_{\text{media}} = 66\%$).

Le tre pesate effettuate a seguito della fase di essiccazione, con bilancia Medel Crystal (portata max $150 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$), hanno evidenziato una massa di $23,2 \text{ kg}$ e un'umidità di:

$$Uf = 100 \times ((32 \text{ kg} - 23,2 \text{ kg}) / 32) = 27,5\%.$$

L'umidità inferiore riscontrata (1,5%) rispetto alla porzione immagazzinata ad Asti, è conseguente ad una minore quantità di prodotto lasciata essiccare.

Il giorno 03/05, nei laboratori di Vicat a Voreppe (fig. 6.7) sono stati effettuati i primi test per verificare l'efficacia del tutolo come aggregato nell'impasto cementizio.

Da una prima analisi sul sottoprodotto è stata riscontrata una granulometria variabile (0,1 - 4 cm) con sfalci di potatura non quantificabili.

La densità apparente del tutolo e i dosaggi di legante sono stati ottenuti come media su tre pesate in un contenitore di volume pari a 10 litri ($0,01 \text{ m}^3$) e con una bilancia da banco industriale Ohaus Defender 3000



Fig. 6.6 Essiccazione del tutolo a Vercelli.



Fig. 6.7 Stabilimento Vicat a Voreppe, Grenoble.

(portata max 60 kg \pm 0,02 kg).

La massa volumica apparente è stata calcolata con la seguente formula:

$$\text{Massa volumica apparente (Densità)} = \frac{\text{Massa (kg)}}{\text{Volume (m}^3\text{)}}$$

Su tre tipologie di aggregato vegetale (tab.1):

- Tutolo al naturale con sfalci di potatura;
- tutolo senza sfalci;
- tutolo privo di aggregato con granulometria maggiore di 2 cm, opportunamente setacciato (fig. 6.8)

I valori della densità apparente del secondo campione (175 kg/m³) sono superiori rispetto al primo, perché le fibre che sono state rimosse hanno una massa volumica inferiore. Sebbene nel terzo campione sia stato sottratto l'aggregato di 2 cm, la densità è rimasta identica alla seconda, inoltre la granulometria più frequente è

N°	Granulato	Densità (kg/m ³)	Massa (kg)
1	al naturale	155	1,55
2	senza sfalci	175	1,75
3	< 2 cm	175	1,75

Tabella. 1 Densità apparente del trinciato.



Fig. 6.8 Componenti del mix design.



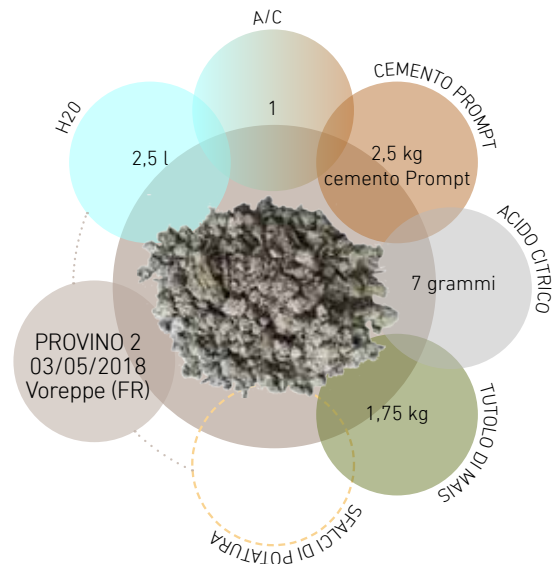
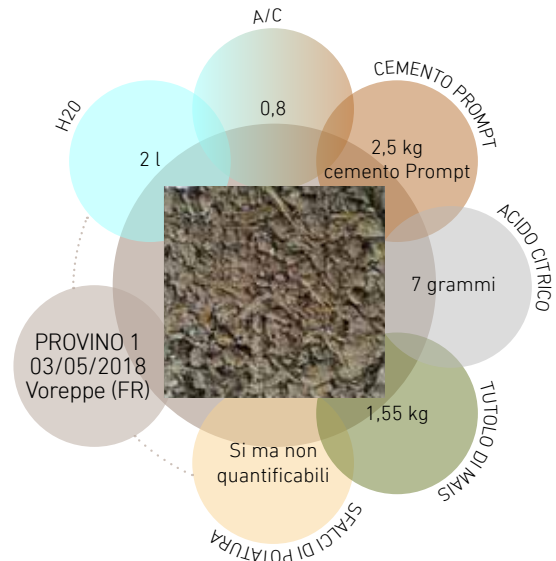
Fig. 6.9 Componenti del mix design.

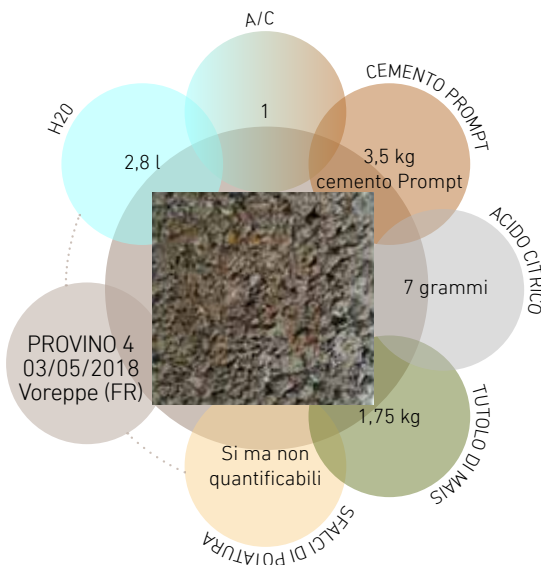
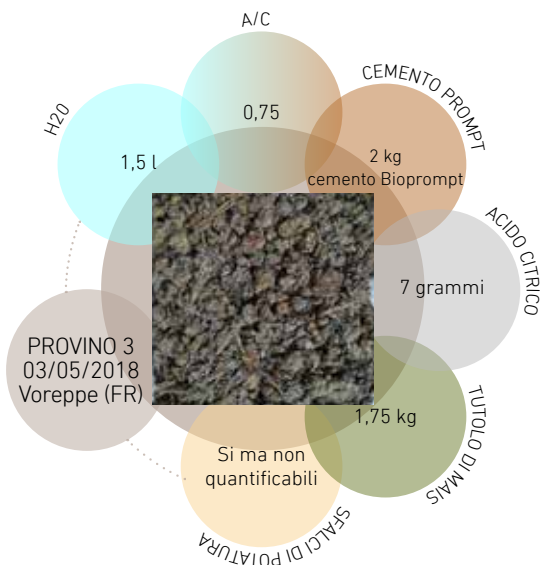
compresa tra 0,1 cm e 2 cm.

A parità di volume, per la realizzazione del mix design (provini 1-4), sono stati impiegati tre dosaggi di legante Vicat:

- 200 kg/m³ (m = 2 kg) di cemento Prompt e additivi reologici (etere di cellulosa);
- 250 kg/m³ (m = 2,5 kg) di cemento Prompt;
- 350 kg/m³ (m = 3,5 kg) di cemento Prompt;

Nella fase di impasto, con trapano mescolatore AEG BH 25, è stato utilizzato un rapporto acqua/cemento (a/c) compreso tra 0,75 e 1 (in base alla granulometria), maggiore rispetto ai calcestruzzi ordinari (a/c = 0,5), perché l'aggregato vegetale ha un comportamento igroscopico (paragrafo 3.3). Inoltre, è stato aggiunto ai tre componenti (tutolo, acqua e cemento) il ritardante di presa "Tempo" (fig. 6.9), un additivo composto da acido citrico che ha allungato i tempi di presa del cemento Prompt (paragrafo 1.1.3) da 2 a 15 minuti. Di seguito sono stati riportati i mix design con i rispettivi dosaggi, infine i risultati delle prove empiriche condotte, sono stati analizzati nel paragrafo successivo.





6.2.1 RISULTATI E DISCUSSIONI

I mix design 1-4 sono stati scasserati 24 ore dopo il confezionamento e dalle prime analisi condotte, hanno evidenziato problemi di coesione legati a due fattori:

- La granulometria non uniforme;
- gli sfalci di potatura non quantificabili.

Nel provino 1 (1,55 kg di tutolo al naturale miscelato con 2,5 kg di legante, 2 l d'acqua e 0,007 kg di acido citrico) è stata riscontrata una difficoltà di coesione indotta dalla granulometria superiore a 2 cm che ha causato dei vuoti all'interno dell'impasto e ridotto la superficie di contatto tra granuli e legante, inoltre gli sfalci di potatura di lunghezza superiore ai 5 cm si sono avvolti nelle pale del miscelatore (fig. 6.10). In un'ottica industriale il problema non può essere risolto, poiché nella filiera del tutolo al naturale (paragrafo 3.5) non è stato previsto il trattamento delle fibre.

Sebbene nel provino 2 (1,75 kg di tutolo miscelato con 2,5 kg di cemento e 2,5 l d'acqua e 0,007 kg di acido citrico) siano stati eliminati gli sfalci di potatura e la granulometria maggiore, è stato riscontrato un aumento della densità e del rapporto acqua cemento, a seguito delle proprietà igroscopiche dell'aggregato e una

riduzione degli spazi vuoti tra le superfici di contatto, fattori che hanno portato alla disgregazione totale del campione.

A seguito dei risultati ottenuti nell'impasto precedente, nel provino 3 (1,75 kg di tutolo al naturale miscelato con 2 kg di legante, 1,5 l d'acqua e 0,007 kg di acido citrico) sono stati reinseriti gli sfalci per aumentare i punti di coesione con delle fibre (fig. 6.11).

Inoltre, per ridurre la massa del provino e mantenere una granulometria calibrata (densità maggiore rispetto al tutolo con granulometria mista), è stato introdotto un additivo tenso-attivo (etere di cellulosa) al fine di diminuire la tensione superficiale dell'acqua (impasto più appiccicoso) e migliorare la coesione degli elementi, tuttavia si è verificata la disgregazione in fase di indurimento, in seguito alla riduzione del dosaggio di legante e alla presenza di bolle generate dall'etere di cellulosa.

Il provino 4 (1,75 kg di tutolo al naturale miscelato con 3,5 kg di legante, 2,8 l d'acqua e 0,007 kg di acido citrico), con l'aumento del dosaggio di legante, è risultato il più coeso (spigoli integri) a discapito di un incremento di massa volumica e di



Fig. 6.10 Problemi dell'impasto con sfalci.



Fig. 6.11 Provino 2: granulometria calibrata con sfalci.

6.3 SECONDA SERIE DI ATTIVITÀ E MONITORAGGIO: TUTOLO INDUSTRIALIZZATO

apporto d'acqua nell'impasto.

Dai primi mix design è risultato che una granulometria calibrata e la presenza di fibre siano necessari per il confezionamento del calcestruzzo. Inoltre, la filiera del tutolo al naturale non ha permesso di quantificare gli sfalci e di identificare la loro lunghezza, di conseguenza non è stato possibile replicare in serie le caratteristiche dei campioni.

Al fine di ridurre gli interstizi negli impasti, è stato ipotizzato che l'aggregato dovrebbe avere una granulometria compresa tra 0,3-1 cm, a sfavore di una bassa densità. L'esperienza maturata nei laboratori di Voreppe ha permesso di replicare il provino 4 presso lo stabilimento dell'azienda Sarotto (Narzole, CN) e di impostare una metodologia sistematica per le successive fasi di attività, sull'impiego di un aggregato industrializzato.

Dalle esperienze acquisite sui primi mix design, in cui sono state evidenziate le difficoltà di impiego del tutolo al naturale (sfalci non quantificabili e granulometria non calibrata), nel seguente paragrafo sono state valutate le potenzialità del sottoprodotto industrializzato. Tuttavia, al fine di determinarne le prestazioni termiche e di ottenere un confronto su un campione di riferimento, è stata realizzata una losanghe con le stesse caratteristiche del provino 4 (losanga 1).

La serie di attività e monitoraggio è stata organizzata in tre fasi:

- Reperimento del tutolo industrializzato;
- confezionamento della losanga nello stabilimento di Sarotto s.r.l.;
- realizzazione di mix design per testare la coesione delle miscele tutolo industrializzato-cemento Prompt.

In data 07/05, sono stati reperiti 100 kg (confezionati da 25 kg) di tutolo industrializzato con granulometrie differenti (0,85-1,04 mm e 2-6,3 mm), dall'azienda Silco Torino s.r.l., rivenditore di granuli (vegetali e sintetici) per lavori di vibrofinitura, lucidatura e sabbiatura (paragrafo 3.4).

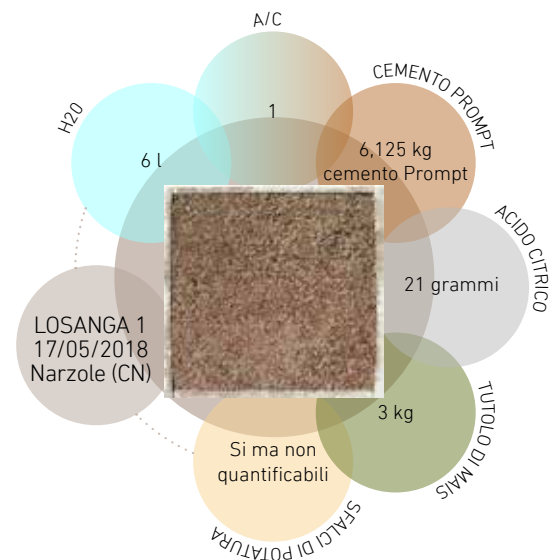
Per individuare la dimensione migliore dell'aggregato vegetale nell'impasto cementizio, in data 17/05 sono stati recuperati altri 40 kg di prodotto (granulometria compresa tra 5-10 mm) dall'azienda Agrindustria Tecco s.r.l (paragrafo 3.4), che è specializzata nella lavorazione dei sottoprodotti agricoli e utilizza impianti d'essiccazione (fig.6.12) per commercializzare il tutolo con un'umidità compresa tra 10-15%.

Il dosaggio dei costituenti del provino 4 (paragrafo 6.2), su cui analizzare le proprietà termiche in una fase successiva, è stato riproposto nello stabilimento di Sarotto s.r.l in un cassero di dimensioni 50x50x7 cm e un volume di 0,0175 m³ (losanga 1). Inoltre, sono state effettuate delle prove preliminari per verificare il comportamento del nuovo aggregato all'interno dell'impasto cementizio (provini 5-6), mantenendo lo stesso dosaggio di legante Prompt (350 kg/m³).

La massa volumica apparente delle diverse granulometrie (tab.2), è stata calcolata come media su tre pesate con una bilancia da banco industriale Bilanciali Zenit (portata



Fig. 6.12 Essiccatorio rotativo a ciclo continuo.



max 30 kg \pm 0,0005 kg) in una cubiera preconfezionata (fig.6.13) di dimensioni 15x15x15 cm, con un volume di 0,0034 m³. I valori della densità apparente del tutolo industrializzato sono notevolmente superiori a quelli del sottoprodotto al naturale (155-175 kg/m³), poiché la diminuzione degli interstizi tra i granuli e l'assenza di sfalci ha aumentato la quantità contenuta nella cubiera. Tuttavia, per testare la capacità di coesione, il provino 6 è stato realizzato con una granulometria media (2-6,3 mm) tra quelle analizzate nella tabella 2.

In seguito al confronto sui valori della massa volumica apparente del nuovo aggregato e dalle considerazioni sul provino 4 (paragrafo 6.2.1), è stato adottato un approccio differente che ha previsto la combinazione di quantità granulometriche differenti nel medesimo impasto.

N°	Granulato	Densità (kg/m ³)	Massa (kg)
1	0,85-1,04 mm	561,8	1,91
2	2-6,3 mm	398,3	1,35
3	5-10 mm	333,3	1,13

Tabella. 2 Densità apparente del tutolo industrializzato.

Si precisa che, per il confezionamento del mix design sono stati realizzati in situ dei casseri in EPS da recupero, aventi un volume identico alle cubiere precedenti (0,0034 m³) con dimensioni 25x25x5,4 cm. Inoltre, i dosaggi delle granulometrie e del cemento Prompt (350 kg/m³) adoperati per ogni miscela, sono stati quantificati in funzione al volume del cassero.

A titolo di esempio, è stata riproposta la



Fig. 6.13 Misura della massa volumica apparente sul campione 3 di tutolo.

metodologia di calcolo utilizzata per la realizzazione dei provini:

PROVINO 6.

Dati del mix design:

1. Quantità tutolo: 30% Granulometria 5-10 mm - Densità = 333,3 kg/m³.
2. Quantità tutolo: 70% Granulometria 2-6,3 mm - Densità = 398,3 kg/m³.
3. Quantità cemento Prompt - Dosaggio = 350 kg/m³.
4. Quantità acqua d'impasto - Rapporto a/c = 0,85
5. Volume cassero = 0,0034 m³;

Determinazione della quantità (1).

$$\text{Densità} \times \text{Volume cassero} \times 30\% = 333,3 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 0,0034 \text{ (m}^3\text{)} \times 0,3 = 0,34 \text{ kg.}$$

Determinazione della quantità (2).

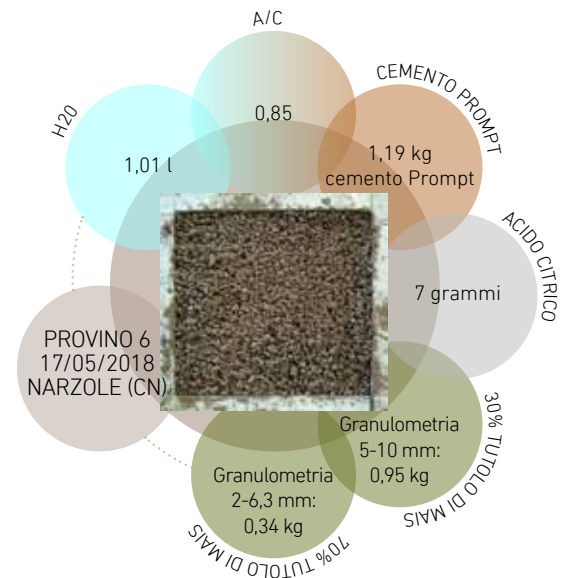
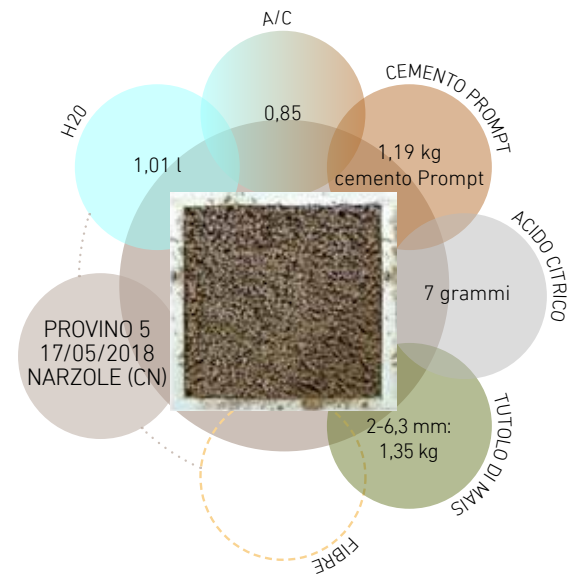
$$\text{Densità} \times \text{Volume cassero} \times 70\% = 398,3 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 0,0034 \text{ (m}^3\text{)} \times 0,7 = 0,95 \text{ kg.}$$

Determinazione della quantità (3).

$$\text{Dosaggio} \times \text{Volume cassero} = 350 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 0,0034 \text{ (m}^3\text{)} = 1,19 \text{ kg.}$$

Determinazione della quantità (4)

$$\text{Quantità di cemento} \times 0,85 = 1,19 \text{ (kg)} \times 0,85 = 1,01 \text{ l.}$$



Sebbene l'utilizzo di aggregati con diverse granulometrie non sia un approccio sbagliato, poiché ha riproposto gli stessi criteri utilizzati per il confezionamento dei calcestruzzi alleggeriti (percentuale differente di aggregati), tuttavia i provini 5 (100% di aggregato 2-6,3 mm) e 6 (70% di aggregato 2-6,3 mm e 30% di 5-10 mm) sono stati realizzati con un fuso granulometrico ampio.

In virtù di queste considerazioni, nel laboratorio LASTIN del Politecnico di Torino, è stato necessario vagliare il sottoprodotto con setacci (fig. 6.14), per calcolare la percentuale di massa contenuta in ogni confezione, al fine di individuare una distribuzione granulometrica ideale all'interno dell'impasto mediante modelli empirici, poiché non è stato possibile realizzare un modello matematico basato sulla curva granulometrica ideale (R.B. Fuller) a causa della forma e del comportamento igroscopico del residuo vegetale che lo distingue dai comuni aggregati (ghiaia, pietrischello e sabbia). Per le operazioni di setacciatura (15 minuti per ogni pesata) dei tre campioni di tutolo, sono stati utilizzati dei vagli Controls con apertura 0,5-10 mm, conformi alle norme



Fig. 6.14 Setacciatura della granulo.



Fig. 6.15 Granulometria Silco 2-6,3 mm.

ISO 3310-1:2016¹ e 3310-2:2013²,
Dall'analisi effettuata sulla prima confezione di Silco (fig. 6.15), contenente il campione di tutolo 2-6,3 mm (tab. 3), si è osservato che il 94% del contenuto è costituito dalla granulometria compresa tra 3 e 6,29 mm, invece il 4,32% è rappresentato dalla pezzatura inferiore a 2,99 mm.

Dalle tre vagliature del secondo prodotto di Silco, con granulometria 0,85-1,04 mm (fig. 6.16), si è riscontrato che il 98% del campione sia composto da granuli di 1 mm (tab 4).

Infine, per il tutolo di Agrindustria (5-10 mm), non è stato possibile attribuire l'esatta granulometria, perché il 95% del materiale si è depositato sul vaglio da 6,3 mm, in seguito alla morfologia oblunga e alla superficie scabra dei granuli (fig 6.17), tuttavia la setacciatura sui tre campioni di residuo ha facilitato le operazioni per determinare la massa volumica reale ed apparente, mediante un becher di vetro graduato a 400 ml (volume 400 cm³) dal peso di 142,17 g ed una bilancia analitica da laboratorio Gibertini E31 (portata max




Fig. 6.16 Granulometria Silco 0,85-1,04 mm.



Fig. 6.17 Granulometria Agrindustria 5-10 mm.


1_ La normativa specifica "i requisiti tecnici e metodi di prova corrispondenti per setacci di prova di tela metallica"

2_ La normativa specifica "i requisiti tecnici e metodi di prova corrispondenti per i setacci della piastra metallica perforata", con fori rotondi o quadrati.



Vaglio	Normativa	Pesata 1 (kg)	Pesata 1 (kg)	Pesata 1 (kg)	Percentuale (%)
10 mm	ISO 3310-2	0	0	0	0
6,3 mm	ISO 3310-2	0,0067	0,0051	0,0084	1,42
5 mm	ISO 3310-2	0,1566	0,1118	0,2032	33,21
3,15 mm	ISO 3310-2	0,2547	0,1987	0,2705	50,98
3 mm	ISO 3310-1	0,0470	0,0402	0,0558	10,07
2 mm	ISO 3310-1	0,0112	0,0110	0,0170	2,76
1 mm	ISO 3310-1	0,0054	0,0064	0,0104	1,56
Polveri	/	/	/	/	/
	Sub. totale	0,4816 kg	0,3732 kg	0,5653 kg	100
	Totale	1,4201 kg			100

Tabella 3 Determinazione delle percentuali granulometriche contenute nel campione di Silco 2-6,3 mm.



Vaglio	Normativa	Pesata 1 (kg)	Pesata 1 (kg)	Pesata 1 (kg)	Percentuale (%)
2 mm	ISO 3310-1	0	0	0	0
1 mm	ISO 3310-1	0,588	0,456	0,464	97,74
0,5 mm	ISO 3310-1	0,017	0,008	0,01	2,26
Polveri	/	/	/	/	/
	Sub. totale	0,605 kg	0,464 kg	0,474 kg	100
	Totale	1,543 kg			100

Tabella 4 Determinazione delle percentuali granulometriche contenute nel campione di Silco 0,85-1,04 mm.

0,48 kg \pm 1 mg).

Il calcolo della densità apparente è stato effettuato riempiendo 200 ml (volume 200 cm³) di tutolo industrializzato nelle diverse pezzature. Come per i test effettuati da Sarotto s.r.l, è stato evidenziato un aumento della massa volumica proporzionale alla diminuzione della granulometria (tab. 5). E' stato constatato che alla variazione delle dimensioni dell'aggregato corrisponde una morfologia differente, poiché i granuli con morfologia arrotondata creano più interstizi rispetto a granuli oblunghi.

E' stato riscontrato che i valori della densità per la setacciatura 2 e 3 (ST.2-3) differiscono soltanto di 5,5 kg/m³, tuttavia la ST.2 non è stata utilizzata per il confezionamento dei campioni in cemento perché la percentuale in peso contenuta nella confezione (tab. 3) è inferiore a ST.3. In seguito a queste considerazioni, le granulometrie che sono state impiegate maggiormente (densità compresa tra 377,20-376,66 kg/m³) sono state la ST.4-5, con l'84% di materiale contenuto nella confezione.

Per la determinazione della massa volumica reale, che esprime la quantità in peso di un materiale contenuto in un volume eliminando i pori e gli interstizi, è stata







	Setacciata 1 granulometria 0,85 - 1,04 mm		
	Volume becher	200 cm ³	0,0002 m ³
	Peso tutolo	114,95 g	0,11 kg
	Densità apparente	0,57 g/cm ³	574,75 kg/m ³
	Setacciata 2 granulometria 2 - 2,99 mm		
	Volume becher	200 cm ³	0,0002 m ³
	Peso tutolo	79,02 g	0,08 kg
	Densità apparente	0,39 g/cm ³	395,10 kg/m ³
	Setacciata 3 granulometria 3 - 3,14 mm		
	Volume becher	200 cm ³	0,0002 m ³
	Peso tutolo	77,93 g	0,07 kg
	Densità apparente	0,39 g/cm ³	389,65 kg/m ³
	Setacciata 4 granulometria 3,15 - 4,99 mm		
	Volume becher	200 cm ³	0,0002 m ³
	Peso tutolo	75,44 g	0,07 kg
	Densità apparente	0,38 g/cm ³	377,20 kg/m ³
	Setacciata 5 granulometria 5 - 6,29 mm		
	Volume becher	200 cm ³	0,0002 m ³
	Peso tutolo	75,32 g	0,07 kg
	Densità apparente	0,37 g/cm ³	376,66 kg/m ³
	Setacciata 6 granulometria 6,3 - 9,99 mm		
	Volume becher	200 cm ³	0,0002 m ³
	Peso tutolo	63,87 g	0,06 kg
	Densità apparente	0,31 g/cm ³	319,37 kg/m ³

Tabella 5 Densità apparente a seguito della setacciatura

adottata la metodologia riportata in tabella 6, in cui è stato riproposto l'utilizzo di un becher data la mancanza di un picnometro in laboratorio. Inoltre, la strumentazione disponibile al LASTIN non ha permesso di analizzare la capillarità del tutolo, questo fattore incide sulle determinazioni della densità reale.

In seguito alle analisi effettuate sul materiale, sono stati realizzati i mix design (provini 7-24), in casseri di volume 0,0034 m³, con diverse percentuali granulometriche

per identificare con un approccio empirico (dosaggi variabili dal 30-70% al 70-30%), gli aggregati che garantiscono una maggiore coesione. Tuttavia gli impasti iniziali sono stati realizzati con il 100% di granuli aventi le medesime dimensioni:

- 0,85-1,04 mm per i provini 7-8;
- 3,15-4,99 mm per il provino 9;

Il provino 8 è stato confezionato con un dosaggio di legante maggiore (450 kg/m³), rispetto al provino 8 (350 kg/m³) in seguito







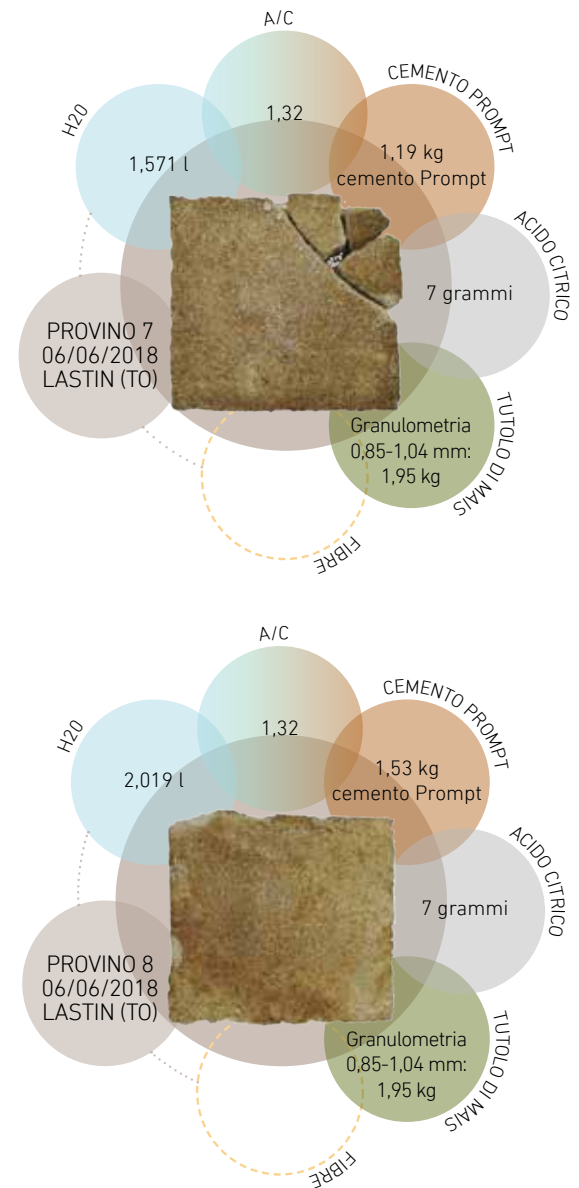
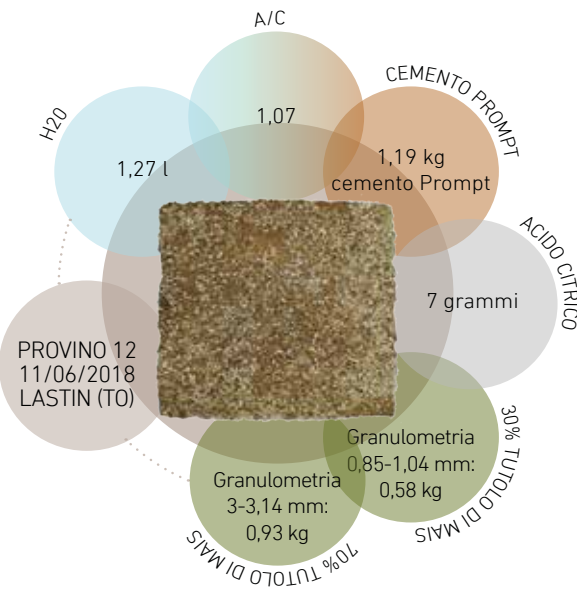
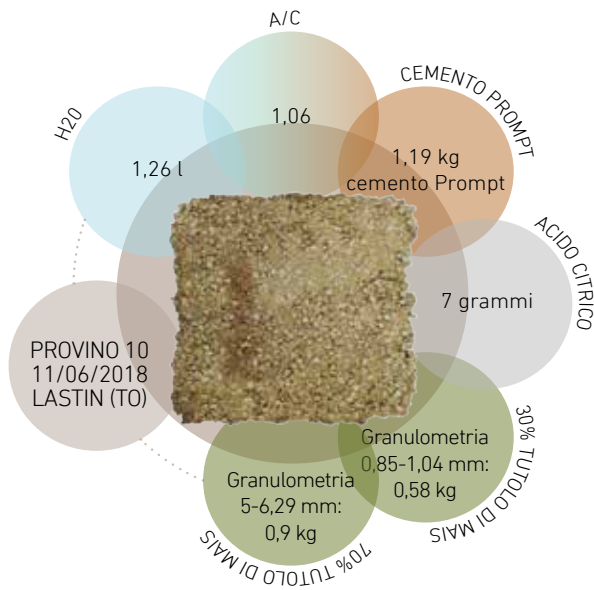
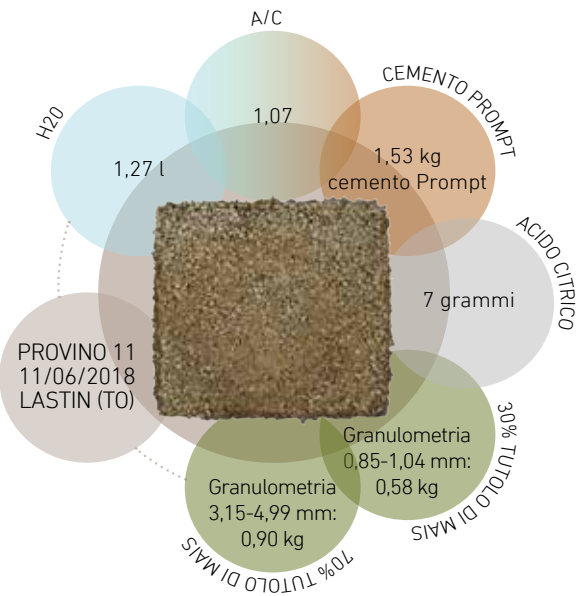
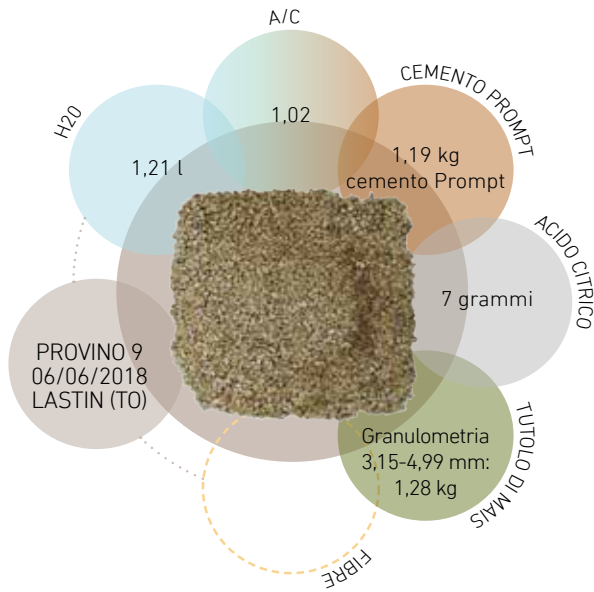
	Calcolo densità reale	0,85-1,04 mm	3-3,14 mm	3,15-4,99 mm	5-6,29 mm	6,3-9,99 mm
	Peso becher vuoto	142,17 g	142,17 g	142,17 g	142,17 g	142,17 g
	Peso H ₂ O	200 g	200 g	200 g	200 g	200 g
	Peso tutolo	114,95 g	77,93 g	75,44 g	75,22 g	77,67 g
	Peso becher (H ₂ O) + peso becher (tutolo)	314,95 g	277,93 g	275,44 g	275,22 g	277,67 g
	Peso becher (tutolo) + H ₂ O a filo	251,13 g	183,76 g	171,27 g	174,23 g	193,56 g
	Massa o Volume H ₂ O non inserita (g=cm ³)	50,83 g	93,82 g	103,04 g	100,53 g	102,40 g
g/cm³	Massa tutolo (g) / Volume H ₂ O non inserita (cm ³)	2,26 g/cm ³	0,83 g/cm ³	0,732 g/cm ³	0,748 g/cm ³	0,758 g/cm ³
kg/m³	Densità reale (kg/m ³)	2261 kg/m ³	830 kg/m ³	732 kg/m ³	748 kg/m ³	758 kg/m ³

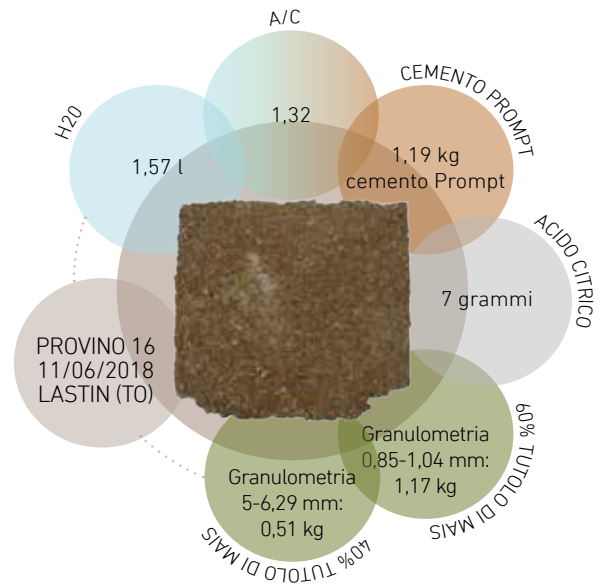
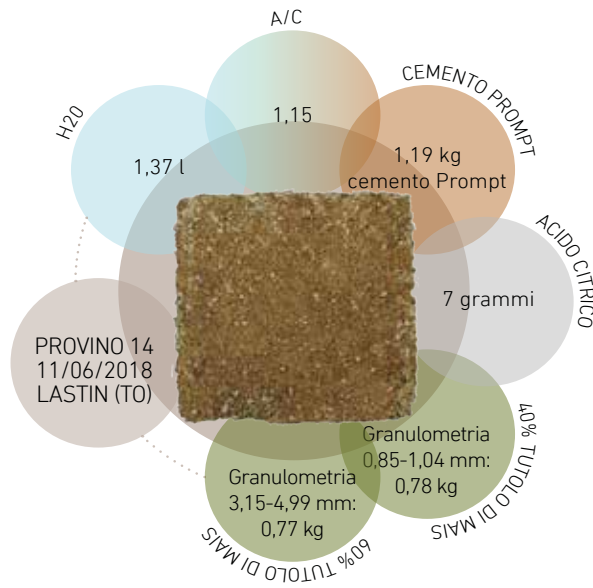
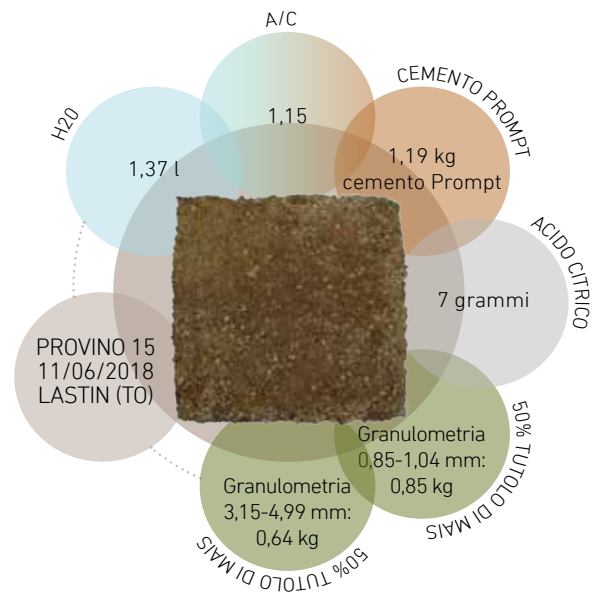
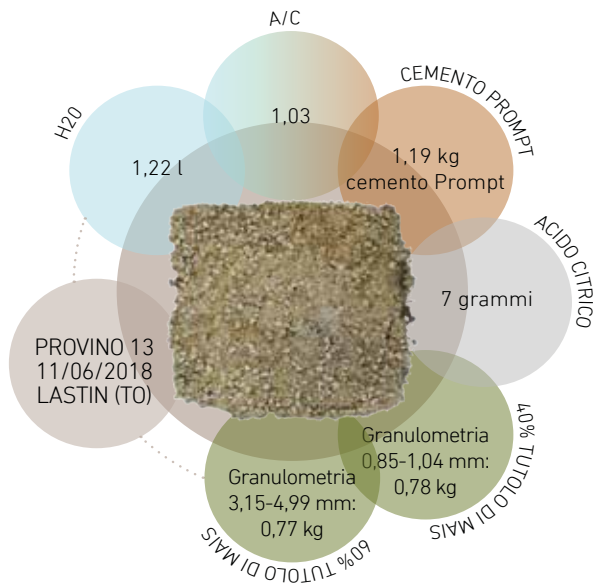
Tabella 6 Determinazione della densità reale delle granulometrie impiegate.

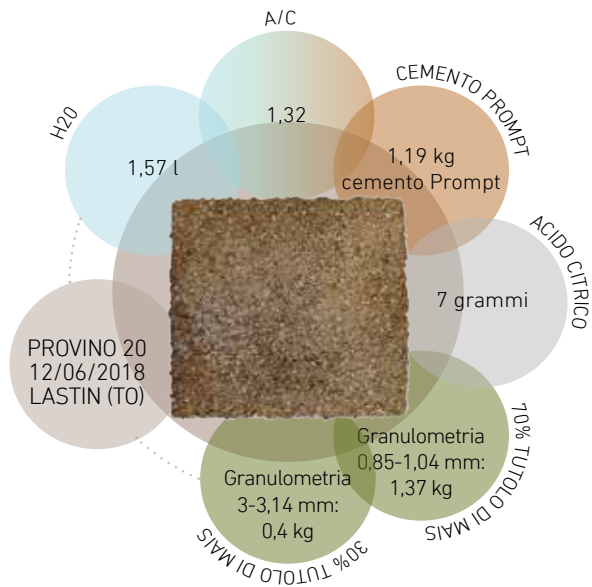
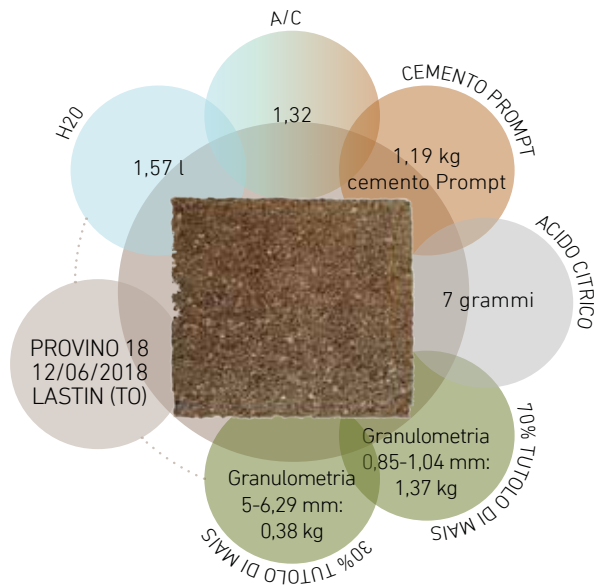
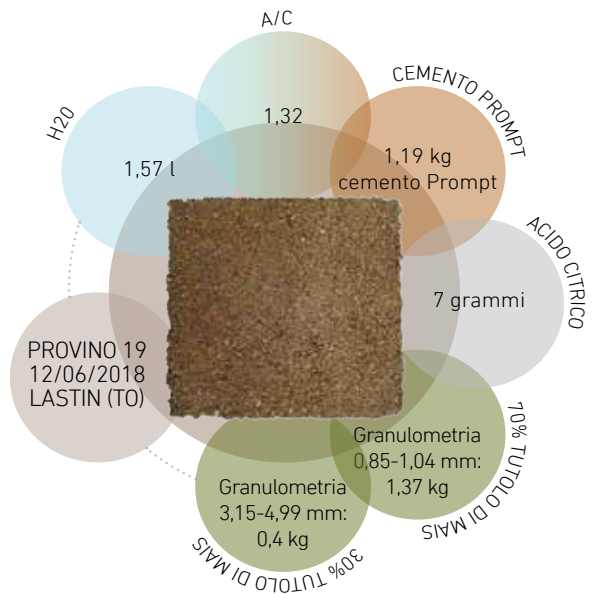
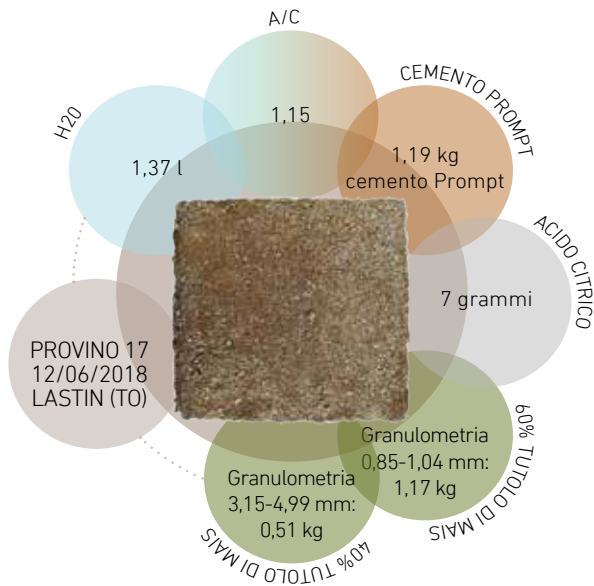
alla scarsa coesione di quest'ultimo. Dal confronto con i campioni 5-6, si è notato che il rapporto a/c (0,85) non ha reso lavorabile la miscela, poiché la capacità di assorbimento del tutolo è di 135% (1,35 kg di H₂O per 1 kg di sottoprodotto); pertanto è stato aumentato il dosaggio d'acqua (a/c = 1-1,32) in relazione alla tipologia e alla percentuale di granulometria che è stata impiegata. Nel caso del provino 7 il valore di a/c (1,32) è correlato alla pezzatura più fine (100% di aggregato 0,85-1,04 mm). Si precisa che tutti i provini sono stati scasserati 48 ore dopo il confezionamento e lasciati ad essiccare all'esterno del laboratorio, in condizioni di temperatura media dell'aria di 22,2 °C ed umidità relativa media di 67%.

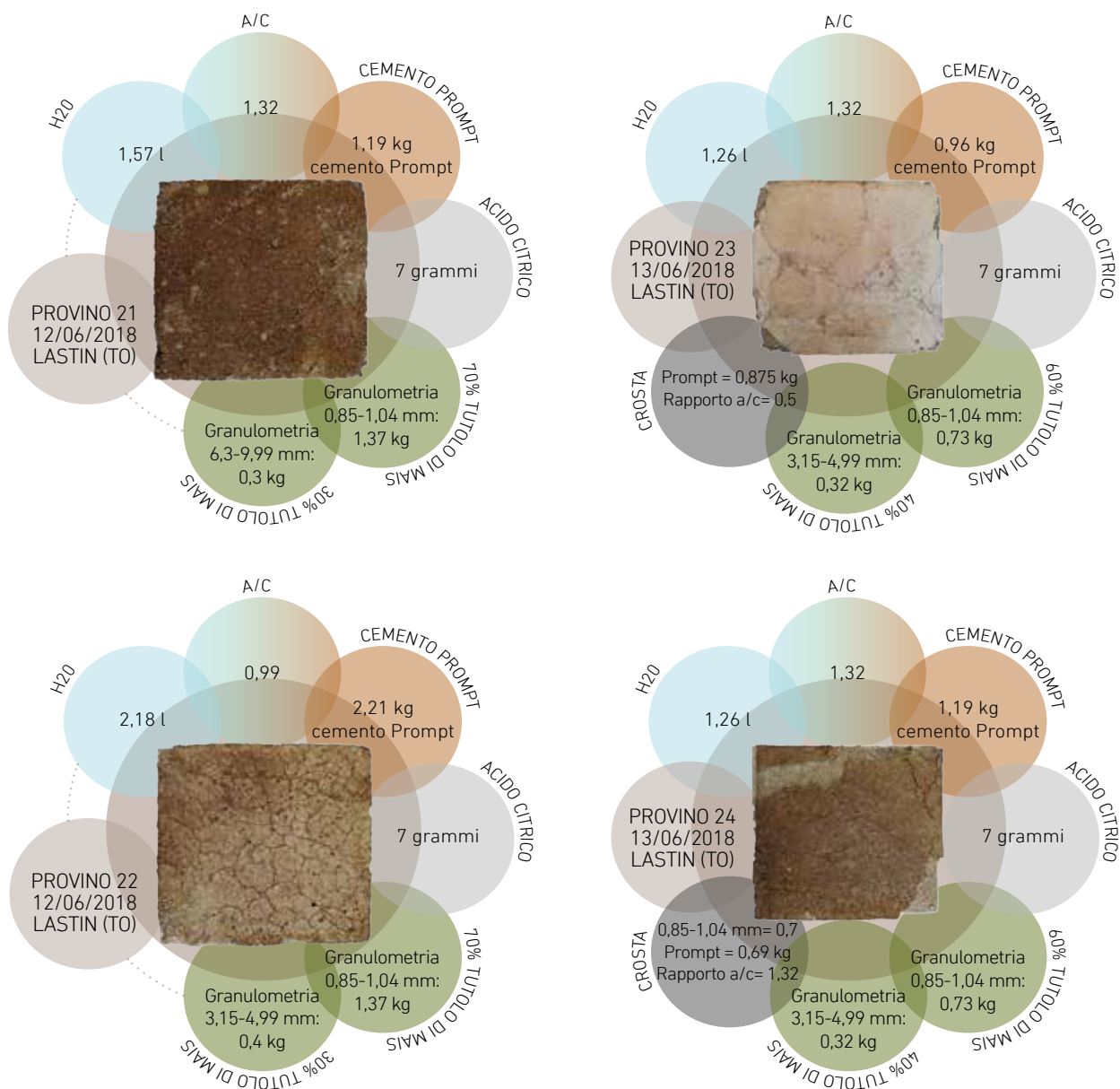
In seguito alle prove che sono state effettuate sui campioni 7-22, sono stati realizzati due provini sandwich (23-24), analoghi al sistema costruttivo "Klima Sismico" (paragrafo 1.1), utilizzando due croste esterne in cemento a racchiudere un impasto di tutolo e legante Prompt. Lo spessore degli elementi è stato rapportato all'interno del cassero con volume 0,0034 m³. I risultati ottenuti in questa fase sono stati analizzati nel successivo paragrafo.











6.3.1 RISULTATI E DISCUSSIONI

I risultati che sono stati ottenuti dalle analisi condotte sull'impasto del tutolo industrializzato e il cemento Prompt (provini 5-24) hanno evidenziato problemi di cattiva coesione dovuti ai seguenti fattori:

- Fuso granulometrico ampio;
- espansione e ritiro dell'aggregato vegetale;
- mancanza di un aggregato (fibra) per riempire gli interstizi tra i granuli.

Dai primi test realizzati nell'azienda Sarotto s.r.l (provini 5-6), è stato ipotizzato che l'impiego di un fuso granulometrico ampio (2-10 mm) potesse favorire il riempimento degli interstizi con la frazione più piccola, tuttavia le sperimentazioni condotte al LASTIN nelle fasi successive hanno confutato questa ipotesi.

Dalla stagionatura nei casseri, dei primi campioni, è stata osservata un'espansione della superficie esterna (quella laterale è stata limitata dalle pareti del cassero) a seguito delle caratteristiche igroscopiche del tutolo, anche se non è stato possibile definire quale granulometria causasse il rigonfiamento superficiale degli impasti (fig. 6.18).

Al momento della scasseratura (fig. 6.19), 48 ore dopo il confezionamento, entrambi i

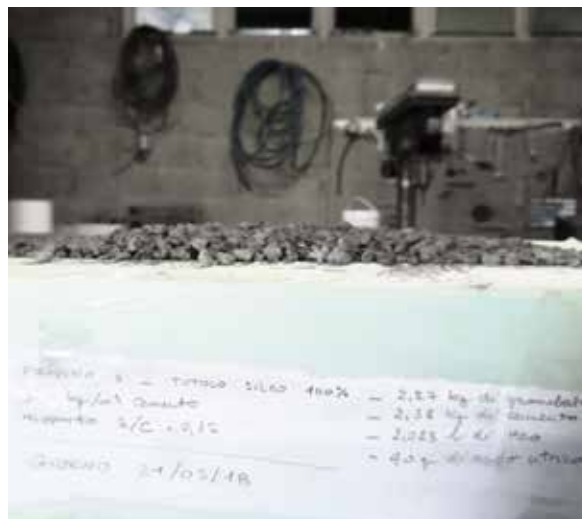


Fig. 6.18 Espansione superficiale del provino 5.



Fig. 6.19 Disgregazione degli angoli.

mix design si sono disgregati in prossimità degli angoli, porzioni fragili caratterizzate da un'essiccazione più rapida rispetto al nucleo. A maturazione ultimata, questo comportamento ha interessato anche la porzione centrale, poiché l'impasto necessita di due granulometrie calibrate (fine e grossolana).

Nel laboratorio del Politecnico di Torino è stato deciso di testare impasti con dosaggi differenti di cemento Prompt (350-450 kg/m³) nei provini 7-8, in cui l'aggregato composto dal 100% di granulometria fine (0,85-1,04 mm) ha provocato fenomeni di espansione rispetto al provino 9 (granuli di tutolo 3,15-4,99 mm) e nella fase di confezionamento, si è osservato un consumo d'acqua maggiore ($a/c=1,32$) nei primi due campioni a differenza del terzo ($a/c=1,02$). Nel periodo di essiccazione e stagionatura (7 giorni in condizioni di $T_{\text{media}}=22,2$ °C e $UR_{\text{media}}=67\%$), successivo alla rimozione dei casseri, i mix design 7-8 si sono disgregati per le caratteristiche igroscopiche del sottoprodotto, mentre il decimo per gli interstizi presenti nel conglomerato cementizio (fig. 6.20).

In seguito a queste considerazioni, è stato stabilito di utilizzare percentuali differenti



Fig. 6.20 Disgregazione del provino 9.



Fig. 6.21 Controllo dell'espansione dei provini.

di aggregato per identificare la corretta proporzione granulometrica e di applicare dei pesi (fig. 6.21) sui i casseri per limitare il rigonfiamento (provini 10-22).

Sebbene nessun impasto abbia permesso di realizzare dei mix design coesi (fig. 6.22), si precisa che le granulometrie con caratteristiche migliori sono comprese tra 3,15-4,99 mm e 5-6,29 mm (provini 10-11, 13-19 e 22), poiché l'espansione e il ritiro delle frazioni più fini indeboliscono il legame tra cemento e aggregato.

Le croste cementizie dei provini 23, superficie da 1 cm in legante Prompt (fig. 6.23) e 24, impasto da 1 cm con il 100% di aggregato 0,85-1,04 mm e un dosaggio cementizio di 550 kg/m^3 , che sono state realizzate per: inglobare la porzione fragile, limitare i fenomeni di espansione ed aumentare la resistenza degli angoli, si sono fessurate in seguito alla cattiva idratazione del cemento e non hanno formato legami coesi con la parte sottostante.

Per risolvere le difficoltà riscontrate nel confezionamento dei mix design 5-24, nel paragrafo successivo è stato sperimentato l'utilizzo della paglia di riso per migliorare la coesione nell'impasto tutolo industrializzato - cemento Prompt.



Fig. 6.22 Disgregazione dei mix design.



Fig. 6.23 Fessurazione del cemento nel provino 23.

6.4 TERZA SERIE DI ATTIVITÀ E MONITORAGGIO: PAGLIA DI RISO E TUTOLO INDUSTRIALIZZATO

Sulla base delle sperimentazioni che sono state condotte sul tutolo di mais industrializzato, in cui sono state rilevate problematiche legate a fenomeni d'espansione, ritiro e disgregazione, in questo paragrafo è stato valutato il comportamento della paglia di riso, come fibra per colmare gli interstizi dell'impasto di tutolo e cemento Prompt.

In data 13/06, sono stati reperiti circa 10 kg (4 confezioni) di paglia di riso dall'azienda agricola Perinotti Luigi e Giovanni (VC); il sottoprodotto derivante dalla precedente annata agraria (2016-2017) si presenta con una lunghezza degli steli di 15-30 cm (non è stato montato il trinciapaglia sulla mietitrebbiatrice) ed un'umidità del 15-20% (sostanza secca).

Per essere impiegato all'interno dell'impasto cementizio, è stato necessario sminuzzare gli steli (fig. 6.24) per ridurre la lunghezza a 2-10 cm con l'ausilio di un cippatore GTM Gts 900 (fig. 6.25).

Considerato che il cippatore è stato progettato per tritare ramaglie e legno in trucioli, la paglia ostruisce il camino deflettore, a causa della bassa densità della sostanza secca, tuttavia il macchinario ha



Fig. 6.24 Paglia sfusa con steli corti.



Fig. 6.25 Cippatore GTM Gts 900.

permesso di ottenere un prodotto ideale per il confezionamento dei provini.

Si precisa che, per effettuare delle sperimentazioni in laboratorio con questa tipologia di sottoprodotto è consigliabile l'impiego di un biotrituratore elettrico a lame o a turbina, provvisto di cestello per la raccolta dei residui sminuzzati.

In un'ottica di filiera industrializzata, per il trattamento della paglia di riso, si prefigurano due scenari:

- Per lo stoccaggio in rotoballe pressate (paragrafo 4.5) è necessario che l'azienda si munisca di un biotrituratore professionale, poiché la lunghezza degli steli è superiore a 20 cm;
- Per i residui sfusi, il trinciapaglia dei macchinari agricoli provvede allo sminuzzamento del sottoprodotto lasciato in andana (steli inferiori a 10 cm). Tuttavia, questa ipotesi implica un volume maggiore di residuo rispetto alle rotoballe e un approvvigionamento minore di materiale nel centro di stoccaggio.

Per il calcolo della densità apparente della paglia sono stati utilizzati una bilancia analitica da laboratorio Gibertini E31

(portata max 0,48 kg \pm 1 mg) e un becher di vetro da 400 ml (massa = 141,3 g e volume = 0,0004 m³), inoltre sono state adottate due modalità legate alla morfologia del residuo: paglia sfusa con steli lunghi (15-30 cm) e paglia sfusa con steli corti (2-10 cm). Dai risultati delle due pesate (tab. 7) è stato dimostrato che il sottoprodotto abbia una massa volumica apparente (54,6 kg/m³ a steli lunghi e 92,3 kg/m³ a steli corti) inferiore al tutolo di mais (paragrafo 6.2).

Da queste considerazioni è stato utilizzato nei dosaggi dei mix design 25-31 il valore di densità apparente relativo alla paglia di riso a steli corti, impiegando il tutolo di mais nelle granulometrie 3,15-4,99 mm e 5-6,29 mm (minori problemi legati all'espansione) e un dosaggio cementizio di 350-450 kg/m³. A



	Paglia steli lunghi 15 - 30 cm	
	Volume becher	200 cm ³ 0,0002 m ³
	Peso paglia	10,93 g 0,01 kg
	Densità apparente	0,05 g/cm ³ 54,65 kg/m ³
	Paglia steli corti 2 - 10 cm	
	Volume becher	200 cm ³ 0,0002 m ³
	Peso paglia	18,45 g 0,02 kg
	Densità apparente	0,09 g/cm ³ 92,34 kg/m ³

Tabella 7 Densità apparente della paglia di riso.

titolo di esempio è riportata la metodologia di calcolo utilizzata per il confezionamento del provino 29:

PROVINO 29

Dati del mix design:

1. Quantità tutolo: 70% Granulometria 3,15-4,99 mm - Densità = 377,20 kg/m³.
2. Quantità paglia: 30% stelo corto 20-100 mm - Densità = 92,34 kg/m³.
3. Quantità cemento Prompt - Dosaggio = 350 kg/m³.
4. Quantità acqua d'impasto - Rapporto a/c = 1,02
5. Volume cassero = 0,0034 m³;

Determinazione della quantità (1).

$$\text{Densità} \times \text{Volume cassero} \times 70\% = 377,20 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 0,0034 \text{ (m}^3\text{)} \times 0,7 = 0,9 \text{ kg.}$$

Determinazione della quantità (2).

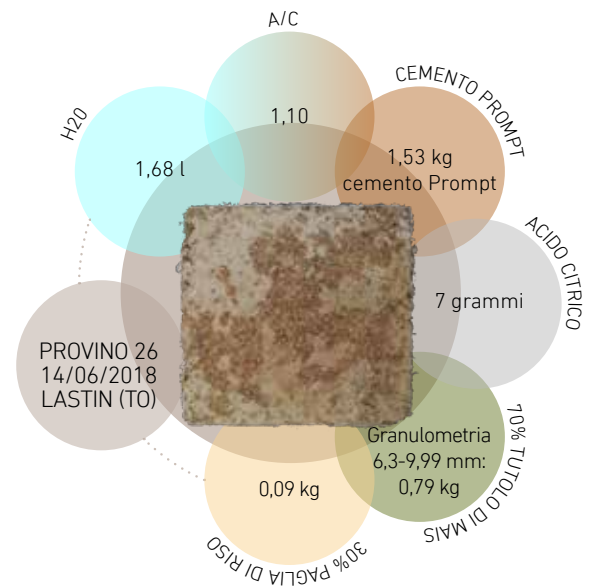
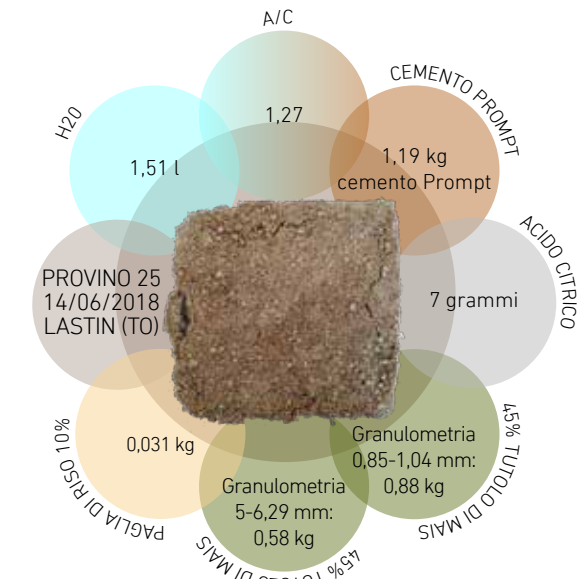
$$\text{Densità} \times \text{Volume cassero} \times 30\% = 92,34 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 0,0034 \text{ (m}^3\text{)} \times 0,3 = 0,09 \text{ kg.}$$

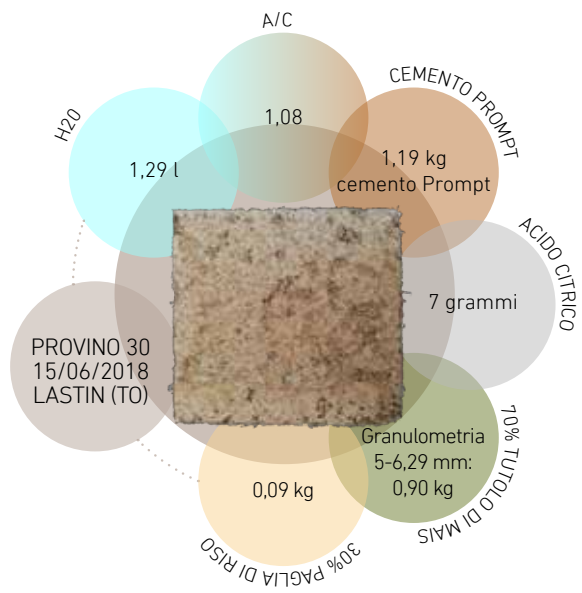
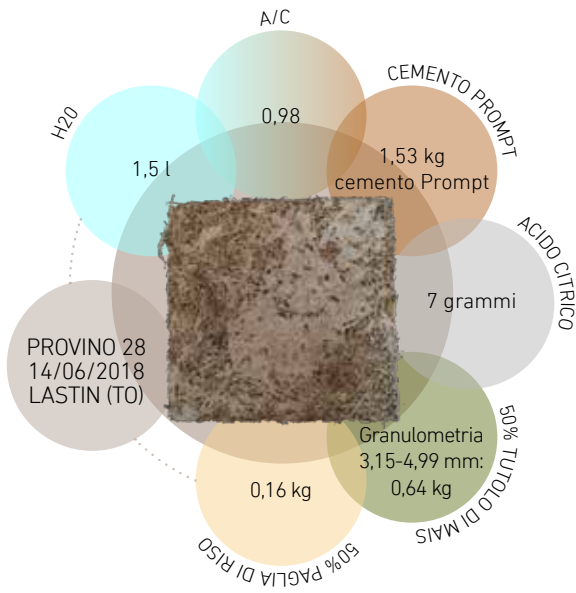
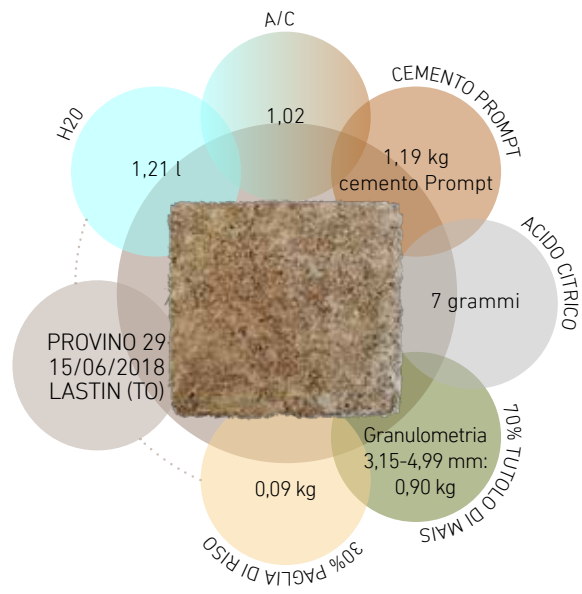
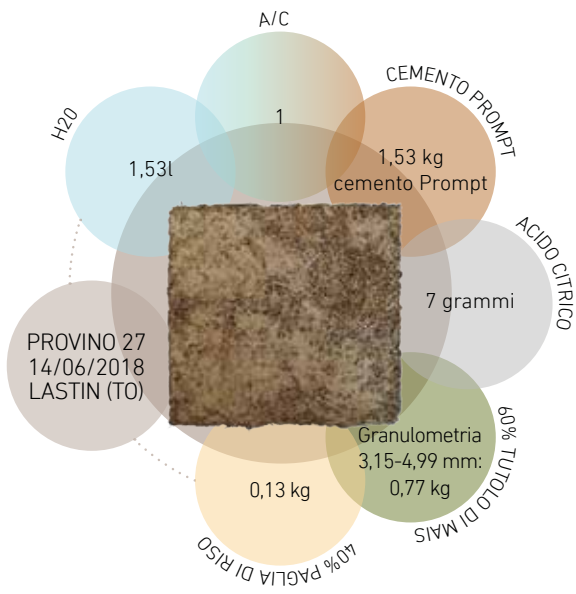
Determinazione della quantità (3).

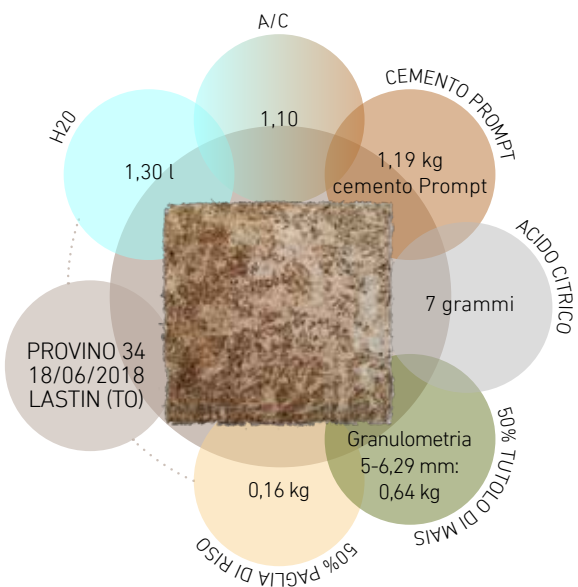
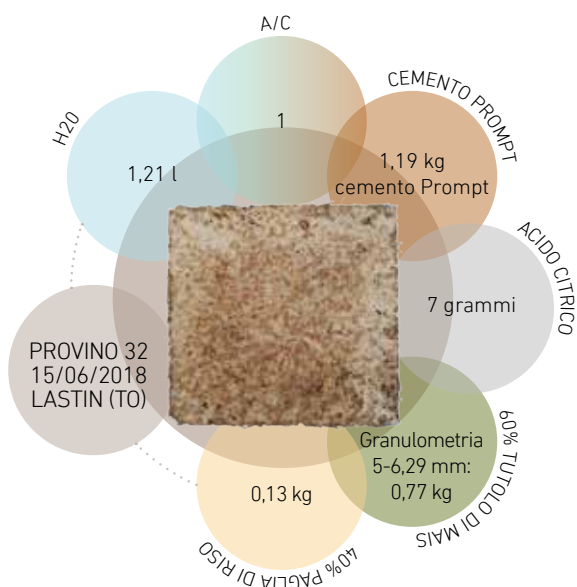
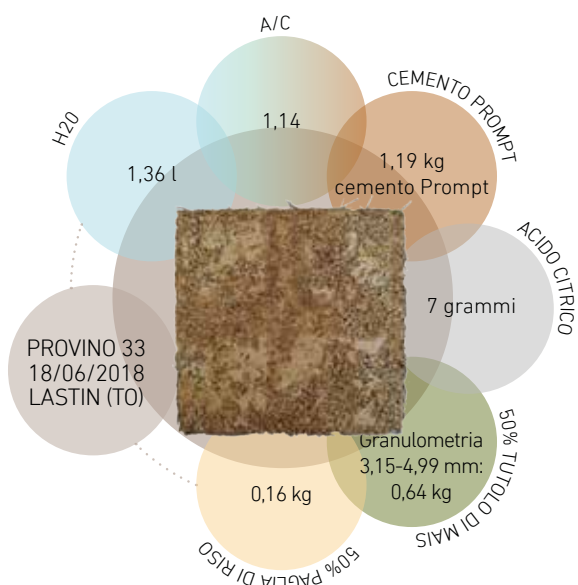
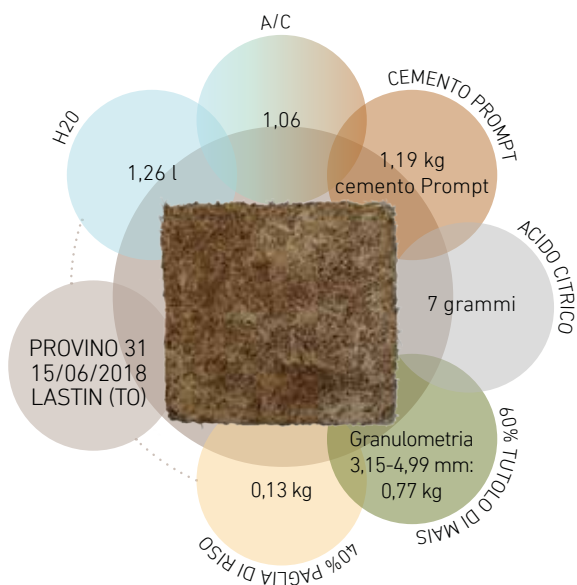
$$\text{Dosaggio} \times \text{Volume cassero} = 350 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 0,0034 \text{ (m}^3\text{)} = 1,19 \text{ kg.}$$

Determinazione della quantità (4)

$$\text{Quantità di cemento} \times 1,02 = 1,19 \text{ (kg)} \times 1,02 = 1,21 \text{ l.}$$







6.4.1 RISULTATI E DISCUSSIONI

I risultati che sono stati ottenuti dalle analisi condotte sull'impasto contenente la paglia di riso e il tutolo industrializzato (provini 25-34) sono risultati coesi ad eccezione del campione 25 (fig.6.26), poiché il dosaggio degli aggregati è costituito da:

- 45% di granulometria fine di tutolo (0,85-1,04 mm);
- 45% di granulometria grossolana (5-6,29 mm);
- 10% fibre (paglia di riso).

La disgregazione è stata causata dalla porzione più fine di aggregato (fenomeni di espansione e ritiro) e dalla bassa quantità di fibre (difficoltà nel riempire gli interstizi), di conseguenza è stata scartata la granulometria 0,85-1,04 mm e aumentata la porzione fibrosa. Inoltre, per verificare l'efficacia della fibra con il residuo del mais calibrato nella dimensione 6,3-9,99 mm, nel campione 26 è stato effettuato un test con dosaggio di cemento (450 kg/m^3) e quantità differente di tutolo (70% tutolo e 30% paglia), da cui sono state evidenziate delle crepe (fig. 6.27) a seguito della dilatazione dell'aggregato. Nei provini 27-28 è stata impiegata una granulometria di 3,15-5 mm e una quantità di fibra variabile da 60% a 50% per evitare



Fig. 6.26 Disgregazione del provino 25.



Fig. 6.27 Crepe del provino 26.

il manifestarsi delle crepe. Sebbene i mix design rimangano coesi, sono state riscontrate delle piccole fessure in seguito alla cattiva idratazione del cemento, inoltre la quantità di legante è risultata eccessiva. In virtù di queste considerazioni, nei provini 29-34, è stata diminuita la dose di legante (350kg/m^3), sono state impiegate granulometrie (3,15-4,99 e 5-6,29 mm) e quantità di paglia nelle seguenti percentuali:

- 70% tutolo e 30% paglia;
- 60% tutolo e 40% paglia;
- 50% tutolo e 50% paglia.

Al momento dello scassero, i campioni hanno mostrato una buona coesione degli aggregati. Tuttavia ad essiccazione ultimata, nei provini 29-32, contenenti maggiori quantità di tutolo (60-70%), è stato evidenziato il distacco dei granuli in prossimità degli angoli.

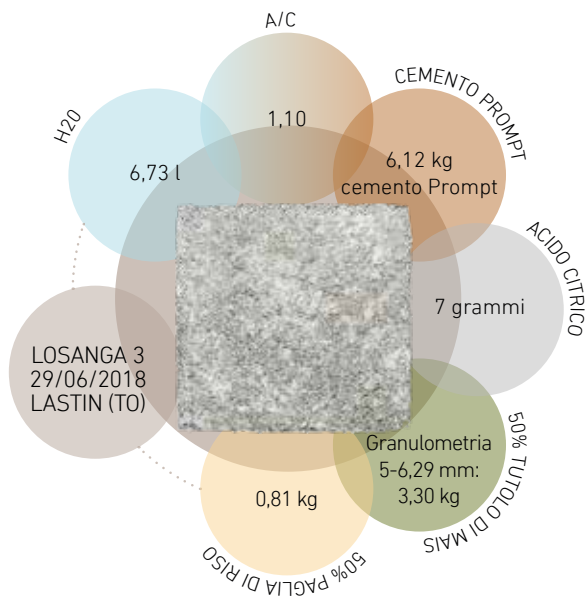
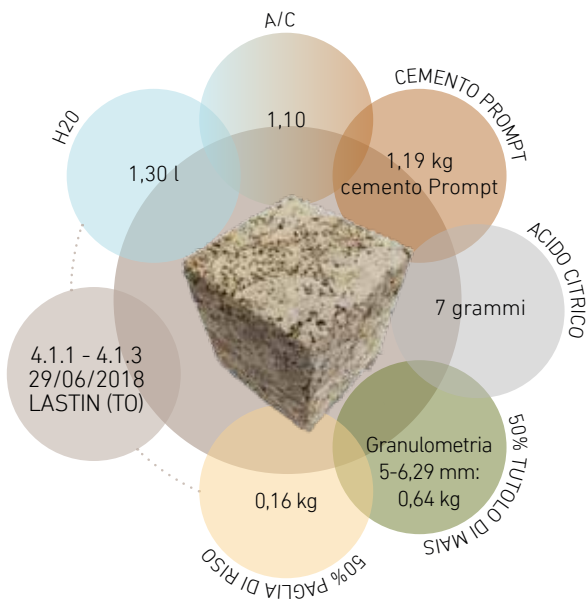
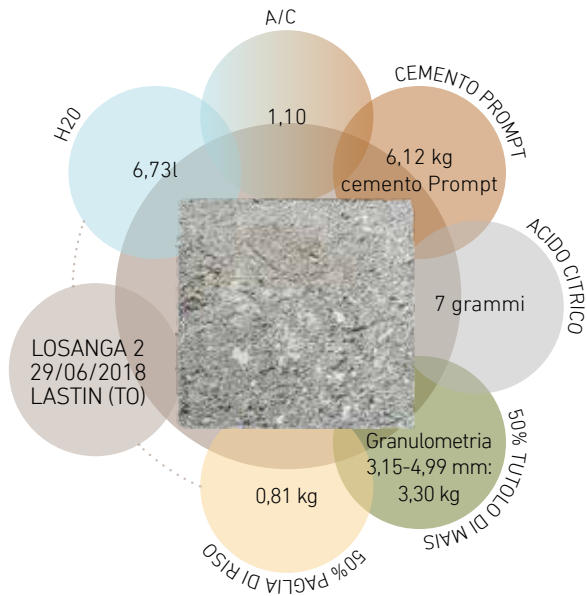
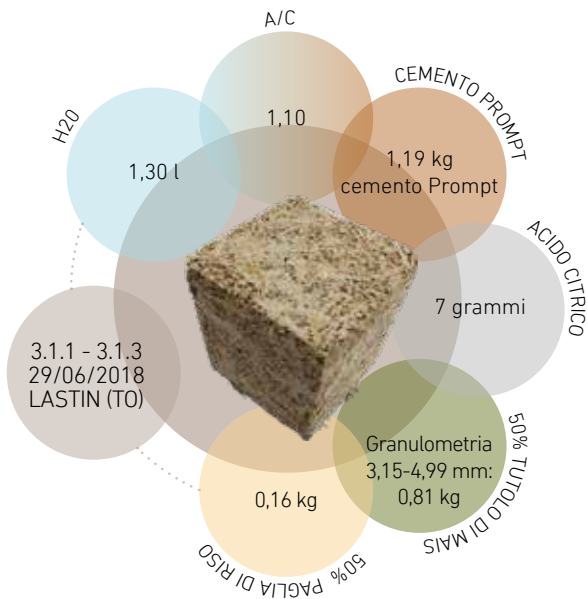
Dai risultati ottenuti sugli impasti 33 (fig. 6.28) e 34 (fig. 6.29), sono stati realizzati sei provini cubici $15 \times 15 \times 15$ (3.1.1-4.13) cm e due losanghe $50 \times 50 \times 7$ cm (losanga 2-3), con granulometria 3,15-4,99 mm e 5-6,29 mm, per determinare la resistenza meccanica e le prestazioni termiche del conglomerato.



Fig. 6.28 Mix design 33.



Fig. 6.29 Mix design 34.



MODULO DI CARICO

METRO COM
engineering s.p.a.
GARRAGNA (NO) - ITALIA

MAX

R



KN

ON / OFF



M

ΔR

m

METRO COM
engineering s.p.a.
GARRAGNA (NO) - ITALIA



1000 SOLO CARICO



MODULO CONDOTTORE

METRO COM
engineering s.p.a.
GARRAGNA (NO) - ITALIA

I

S

D

R

AUTO

MAN

ON / OFF



CP

C



METRO COM
engineering s.p.a.
GARRAGNA (NO) - ITALIA



I

0

METRO COM
engineering s.p.a.
GARRAGNA (NO) - ITALIA

MODULO DEFORMAZIONE

R



ON / OFF

METRO COM
engineering s.p.a.
GARRAGNA (NO) - ITALIA

RELAZIONE DI CARICHE E VALLE DEFORMAZIONI sul MODULO DEMANDO STATICO LIVI A, LIVI F

PER I CARICHI

100 kg	± 200 μm	spazi a 20 temperature fornite negli altri moduli
1 ton	± 10 μm	± 20 μm
500 kg	± 5 μm	± 20 μm

PER LE DEFORMAZIONI

100 kg	± 200 μm
1 ton	± 10 μm
500 kg	± 5 μm

RELAZIONE di Fornite Scale, con il grafico.

PER I CARICHI

A	± 200 μm
B	± 100 μm
C	± 50 μm
D	± 20 μm

PER LE DEFORMAZIONI

A	± 200 μm
B	± 100 μm
C	± 50 μm
D	± 20 μm

VERIFICHE PRESTAZIONALI

7.1 RESISTENZA A COMPRESSIONE: LEGANTE - TUTOLO AL NATURALE

Nei laboratori di Vicat, situati a L'Isle d'Abeau (fig.7.1), sono stati effettuati i test della resistenza a compressione sui provini cilindrici¹ (30x15 cm) aventi volume di 0,0053 m³ e confezionati con i dosaggi dei mix design 1 e 4 (paragrafo 6.2).

Si precisa che, non esiste una normativa specifica sulla metodologia di prova per i conglomerati cementizi che utilizzano aggregati vegetali. Tuttavia in ambito francese, sono disponibili dei "protocolli di test", regole professionali sui prodotti a base di cemento naturale e canapa (paragrafo 1.2), che hanno fornito i criteri per controllare le prestazioni del conglomerato tutolo naturale - cemento Prompt.

Sulla base di queste procedure, sono state eseguite le prove su diciotto campioni con dosaggi di legante 250 kg/m³ (tab.1) e 350 kg/m³ (tab.2) in un arco temporale di 30, 60 e 90 giorni, poiché trattandosi di aggregati vegetali, il periodo di asciugatura è più lungo rispetto ai conglomerati ordinari. Inizialmente, è stata monitorata la variazione di peso e densità in seguito alla

fase di essiccazione naturale a 30 giorni, da cui è stata riscontrata una perdita media di acqua di 0,77 kg per i provini 1.1.1 - 1.1.3 e di 1,1 kg per i campioni 2.1.1-2.1.3. Dopo 60 giorni, è stata osservata una diminuzione di 1,13 kg per i campioni 1.2.1-1.2.3, mentre per il dosaggio da 350 kg/m³ (2.2.1-2.2.3) è stato stimato un calo di 1,54 kg. La perdita di massa media a 88 giorni è stata di 1,23 kg per i provini 1.3.1-1.3.3 e di 1,74 kg per i conglomerati 2.3.1-2.3.3. Si precisa che, la massa d'acqua perduta è minore nei campioni con dosaggio cementizio di 250 kg/m³, poiché il rapporto a/c è superiore



Fig. 7.1 Stabilimento Vicat di L'Isle d'Abeau.

¹ In ottemperanza alla UNI EN 12390-1:2012, le dimensioni dei provini cubici e cilindrici devono avere la dimensione nominale (d) di 3,5 volte superiore alla dimensione massima (D_{max}) dell'aggregato. Inoltre nel secondo caso è necessario che il rapporto altezza/diametro (h/d) sia uguale a 2.

Mix	Numero	Giorni								
		07-Mag.	09-Mag.	15-Mag.	22-Mag.	30-Mag.	06-Giu.	06-Lug.	03-Ago.	05-Ago.
		0	2	8	15	23	30	60	88	90 Forno
1.1	1.1.1	4,38 kg	4,34 kg	4,11 kg	3,88 kg	3,71 kg	3,65 kg	/	/	/
	1.1.2	4,50 kg	4,45 kg	4,20 kg	3,98 kg	3,80 kg	3,71 kg	3,43 kg	/	/
	1.1.3	4,37 kg	4,32 kg	4,05 kg	3,88 kg	3,74 kg	3,68 kg	3,31 kg	3,25 kg	3,19 kg
	Densità kg/m³	834,47	825,35	777,86	739,48	708,03	693,87	636,47	613,35	602,22
1.2	1.2.1	4,85 kg	4,81 kg	4,54 kg	4,35 kg	4,18 kg	4,08 kg	/	/	/
	1.2.2	4,74 kg	4,71 kg	4,45 kg	4,26 kg	4,03 kg	3,94 kg	3,62 kg	/	/
	1.2.3	4,70 kg	4,66 kg	4,35 kg	4,14 kg	3,99 kg	3,92 kg	3,57 kg	3,47 kg	3,41 kg
	Densità kg/m³	899,90	892,03	840,14	802,39	767,79	751,75	678,46	654,87	644,11
1.3	1.3.1	4,78 kg	4,73 kg	4,58 kg	4,25 kg	4,08 kg	4,02 kg	/	/	/
	1.3.2	4,66 kg	4,60 kg	4,37 kg	4,19 kg	3,99 kg	3,92 kg	3,53 kg	/	/
	1.3.3	4,84 kg	4,78 kg	4,48 kg	4,32 kg	4,12 kg	4,03 kg	3,67 kg	3,54 kg	/
	Densità kg/m³	899,27	888,26	844,85	802,71	767,16	753,32	680,35	668,08	/

Tab. 1 Cinetica di variazione della densità dei provini con un legante di 250 kg/m³.

Mix	Numero	Giorni								
		07-Mag.	09-Mag.	15-Mag.	22-Mag.	30-Mag.	06-Giu.	06-Lug.	03-Ago.	05-Ago.
		0	2	8	15	23	30	60	88	90 Forno
2.1	2.1.1	6,17 kg	6,09 kg	5,78 kg	5,51 kg	5,16 kg	5,11 kg	/	/	/
	2.1.2	6,19 kg	6,11 kg	5,80 kg	5,59 kg	5,25 kg	4,95 kg	4,66 kg	/	/
	2.1.3	6,14 kg	6,07 kg	5,77 kg	5,56 kg	5,27 kg	5,16 kg	4,61 kg	4,41 kg	4,35 kg
	Densità kg/m³	1164,74	1149,96	1092,40	1048,36	987,03	958,09	875,21	832,34	821,51
2.2	2.2.1	6,20 kg	6,13 kg	5,72 kg	5,59 kg	5,26 kg	5,12 kg	/	/	/
	2.2.2	6,27 kg	6,18 kg	5,82 kg	5,56 kg	5,25 kg	5,13 kg	4,69 kg	/	/
	2.2.3	6,15 kg	6,08 kg	5,70 kg	5,42 kg	5,12 kg	5,01 kg	4,63 kg	4,43 kg	4,37 kg
	Densità kg/m³	1172,29	1157,19	1084,53	1042,38	983,25	960,29	879,45	836,99	824,53
2.3	2.3.1	6,06 kg	5,99 kg	5,69 kg	5,38 kg	5,07 kg	5,03 kg	/	/	/
	2.3.2	6,08 kg	6,01 kg	5,64 kg	5,41 kg	5,15 kg	5,02 kg	4,56 kg	/	/
	2.3.3	6,21 kg	6,14 kg	5,76 kg	5,44 kg	5,19 kg	5,10 kg	4,61 kg	4,44 kg	/
	Densità kg/m³	1155,30	1141,46	1075,10	1021,94	970,04	953,37	865,77	838,69	/

Tab. 2 Cinetica di variazione della densità dei provini con un legante di 350 kg/m³.

	Densità	0	2	8	15	23	30	60	88	90
1.1-1.3	kg/m ³	877,88	868,55	820,95	781,53	747,66	732,98	665,09	645,44	623,17
2.1-2.3	kg/m ³	1164,11	1149,54	1084,01	1037,56	980,11	957,25	873,48	836,17	823,02

Tab. 3 Cinetica di variazione della densità media dei provini con un legante di 250 kg/m³ e 350 kg/m³.

nei provini da 350 kg/m^3 (paragrafo 6.2). Alla diminuzione del contenuto d'acqua è corrisposto un calo della densità media nei 90 giorni successivi al confezionamento (tab.3).

Al fine di verificare la completa asciugatura, i campioni maturati (88 giorni) in un ambiente con temperatura di 20°C e umidità relativa del 50%, sono stati ulteriormente essiccati per 48 ore (90 giorni), in un forno alla temperatura di 40°C ; tuttavia, come evidenziato nelle tabelle 1 e 2, i pesi dei provini sottoposti ad essiccazione forzata, non hanno subito variazioni significative rispetto a quelli maturati a umidità e temperatura ambiente.

Per effettuare le prove sulle prestazioni meccaniche, mediante la pressa (fig.7.2) Zwick/Roell ZMART.PRO 1475 (F_{max} 5-100 kN) con una velocità di movimento della piastra di 3 mm/min, i provini maturati a 30, 60 e 90 giorni sono stati pesati e misurati (altezza e diametro).

In seguito alla presenza di interstizi e alla minore densità rispetto ai conglomerati cementizi ordinari, i calcestruzzi in tutolo di mais, analogamente a quelli realizzati in canapa (paragrafo 1.2) possiedono una bassa resistenza meccanica che non

permette un impiego come materiale strutturale. Tuttavia, l'aumento del dosaggio di legante nell'impasto, 350 kg/m^3 anziché 250 kg/m^3 , conferisce delle proprietà meccaniche migliori per deformazioni del 3% (tab.4, 5 e 6).

Dall'analisi dei diagrammi "tensione-deformazione" (Diagr. 1,2,3), relativi ai test



Fig. 7.2 Test sui provini con maturazione di 30 giorni mediante Pressa Zwick/Roell ZMART.PRO 1475.

che sono stati effettuati sui provini con legante 250 kg/m³ (1.1.1-1.3.3) e 350kg/m³ (2.1.1-2.3.3) è stato evidenziato un comportamento duttile dei campioni in seguito a deformazioni maggiori del 5%, prima di raggiungere la fase di rottura. Si precisa che, le procedure adottate in Vicat per la realizzazione di pareti perimetrali verticali a base di canapa e cemento, prevedono un'analisi sulla resistenza

del conglomerato maggiore di 0,2 MPa per deformazioni comprese tra il 5-10%. Sebbene questi materiali abbiano una resistenza massima a compressione ($R_{c_{max}}$) per deformazioni comprese tra il 10-20%, in condizioni reali, non si raggiungono valori di deformabilità elevati, perché i blocchi sono progettati per sopportare solamente il peso proprio. Per quanto riguarda i conglomerati che sono stati

Provini	Proprietà dei provini a 30 giorni				
	Densità (kg/m ³)	R.c Max (MPa)	R.c a 3% di deformazione (MPa)	R.c a 5% di deformazione (MPa)	Deformazione a R.c Max (%)
1.1.1	693,87	0,28	0,18	0,27	5,44
1.1.2	751,75	0,38	0,17	0,32	7,21
1.1.3	753,32	0,33	0,14	0,26	7,98
Legante Prompt 250 kg/m³	732,98	0,35	0,15	0,29	7,60
2.1.1	958,09	0,57	0,39	0,55	5,74
2.1.2	960,29	0,62	0,40	0,58	6,28
2.1.3	953,37	0,54	0,38	0,53	5,91
Legante Prompt 350 kg/m³	957,25	0,58	0,39	0,55	5,95

Tab. 4 Proprietà meccaniche dei campioni con diversa quantità di legante, a 30 giorni di maturazione.

realizzati con il legante Prompt e il tutolo di mais, i valori più attendibili della resistenza (Rc) si attestano per deformazioni del 3% (fig. 7.3, 7.4 e 7.5), poiché al 5% il provino è prossimo alla rottura. Di conseguenza, a parità di legante e aggregato, i campioni assumono un comportamento differente durante il test, per i seguenti fattori:

- la diversa compattazione dei granuli

all'interno del provino;

- la fessurazione in prossimità della granulometria grossolana ha creato uno squilibrio delle forze esterne, causando un cedimento di una porzione di materiale;

Inoltre, dai grafici "tensione-deformazione" (fig. 7.3, 7.4 e 7.5) si è notato che: i campioni con un dosaggio minore (250 kg/m³),

Provini	Proprietà dei provini a 60 giorni				
	Densità (kg/m ³)	R.c Max (MPa)	R.c a 3% di deformazione (MPa)	R.c a 5% di deformazione (MPa)	Deformazione a R.c Max (%)
1.2.1	636,47	0,32	0,18	0,29	6,08
1.2.2	678,46	0,40	0,20	0,35	6,85
1.2.3	680,35	0,26	0,15	0,25	6,38
Legante Prompt 250 kg/m³	665,09	0,33	0,18	0,30	6,43
2.2.1	875,21	0,51	0,42	0,51	4,91
2.2.2	879,45	0,61	0,42	0,58	5,98
2.2.3	865,77	0,50	0,38	0,49	5,51
Legante Prompt 350 kg/m³	873,48	0,54	0,41	0,53	5,47

Tab. 5 Proprietà meccaniche dei campioni con diversa quantità di legante, a 60 giorni di maturazione.

sebbene abbiano una resistenza meccanica inferiore ($R_{cMax} = 0,30$ Mpa), assumono un comportamento più duttile a rottura (deformazione massima 7-9%) rispetto ai provini con un dosaggio di legante maggiore (350 kg/m^3). Questi ultimi sono caratterizzati da prestazioni meccaniche superiori ($R_{cMax} = 0,48$ Mpa), tuttavia assumono un comportamento più fragile a rottura (deformazione 6-7%). In seguito a

queste considerazioni, per i campioni 1.1.1-1.3.3, è stato osservato una diminuzione della Rc (al 3% di deformazione) dai 60 ai 90 giorni con valori inferiori di 0,2 MPa, conseguente ad un dosaggio di legante di 250 kg/m^3 . Per i provini realizzati con una quantità maggiore di legante (2.1.1-2.3.3), a maturazione ultimata, è stata riscontrata una $R_{c_{media}}$ di 0,41 MPa, con scostamenti inferiori rispetto al dosaggio di 250 kg/m^3 .

Provini	Proprietà dei provini a 90 giorni				
	Densità (kg/m^3)	R.c Max (MPa)	R.c a 3% di deformazione (MPa)	R.c a 5% di deformazione (MPa)	Deformazione a R.c Max (%)
1.3.1	602,22	0,26	0,14	0,24	5,81
1.3.2	644,11	0,32	0,16	0,28	6,45
1.3.3	668,08	0,33	0,19	0,31	6,08
Legante Prompt 250 kg/m^3	638,14	0,30	0,16	0,28	6,11
2.3.1	821,51	0,45	0,40	0,45	4,51
2.3.2	824,53	0,47	0,42	0,46	4,31
2.3.3	838,69	0,51	0,42	0,51	4,81
Legante Prompt 350 kg/m^3	828,25	0,48	0,41	0,47	4,54

Tab. 6 Proprietà meccaniche dei campioni con diversa quantità di legante, a 90 giorni di maturazione.

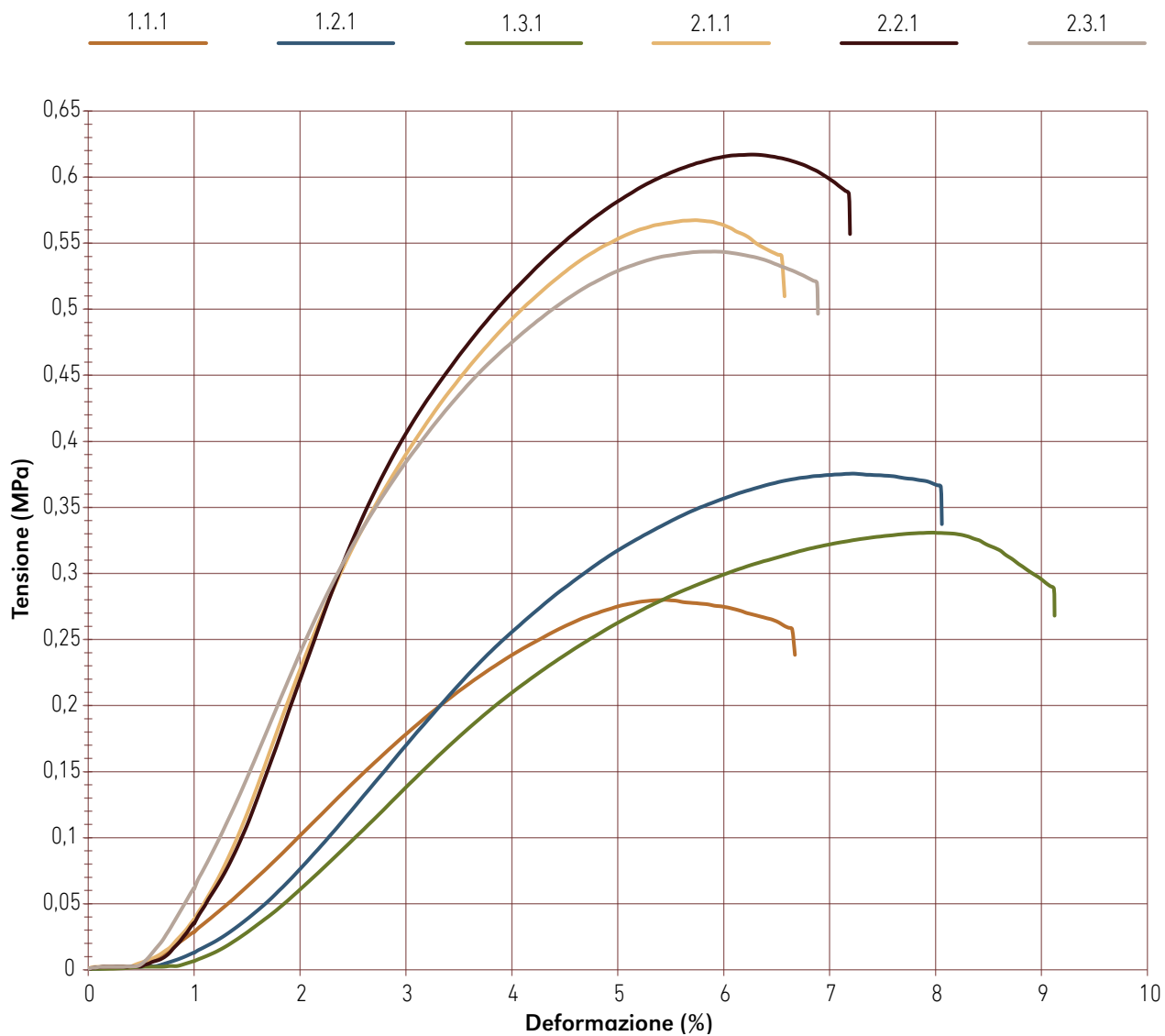


Fig. 7.3 Grafico tensione-deformazione dei provini a 30 giorni di maturazione.

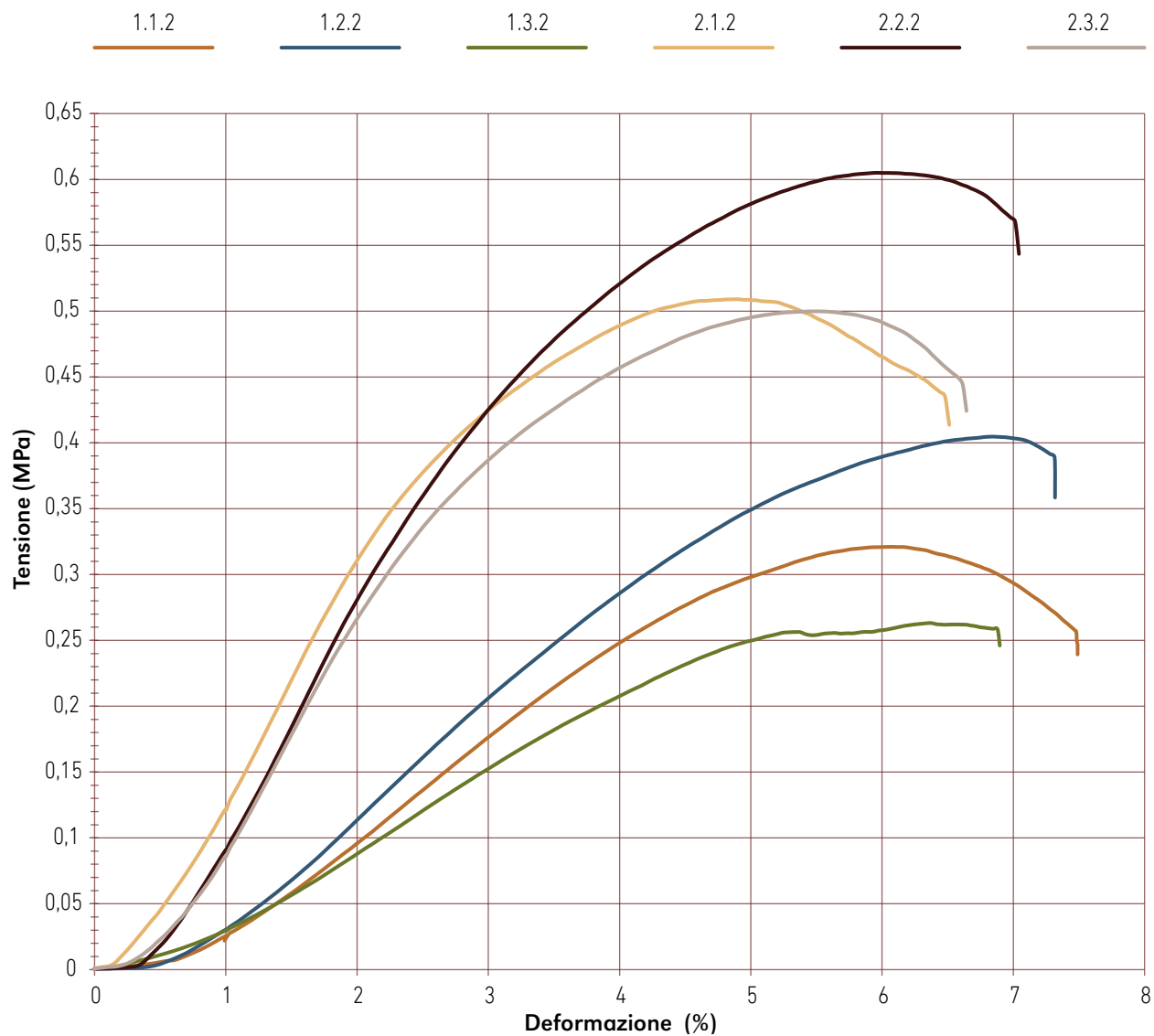


Fig. 7.4 Grafico tensione-deformazione dei provini a 60 giorni di maturazione.

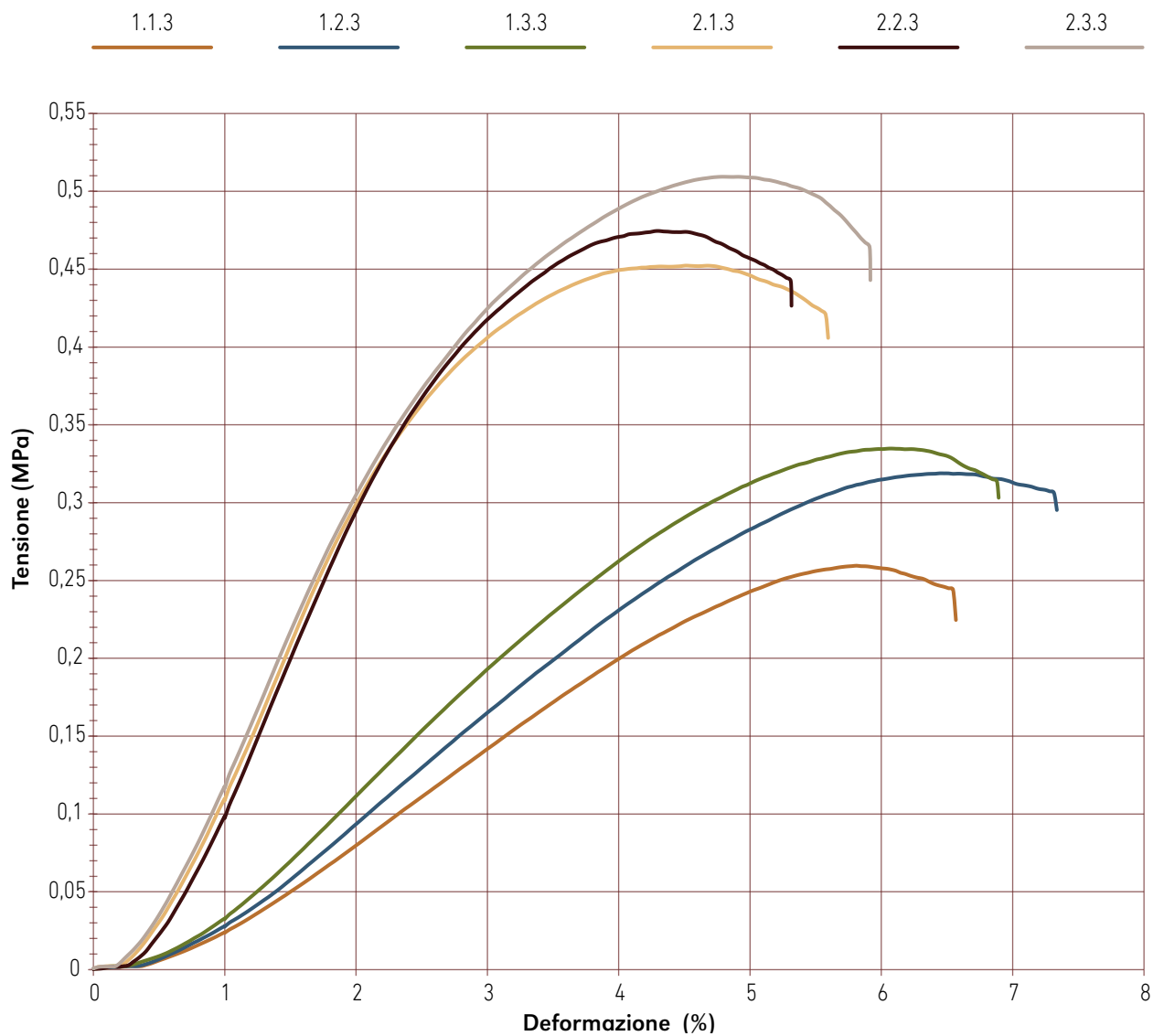


Fig. 7.5 Grafico tensione-deformazione dei provini a 90 giorni di maturazione.

7.2 RESISTENZA A COMPRESSIONE: LEGANTE - TUTOLO INDUSTRIALIZZATO E PAGLIA

Nel laboratorio LASTIN del Politecnico di Torino sono stati realizzati sei provini cubici di dimensioni 15x15x15 cm e volume di 0,0034 m³, di cui tre contenenti un aggregato di granulometria 3,15-4,99 mm (3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3) e tre con granulometria 5-6,29 mm (4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3).

I campioni sono stati essiccati a 30 giorni a temperatura ambiente e sono stati pesati (tab. 7) prima di effettuare la prova a rottura, con una pressa universale a comando idraulico con misuratore a pendolo Metro Com Engineering, con carico massimo di 300 kN (fig. 7.6).



Fig. 7.6 Pressa universale Metro Com Engineering.

Proprietà dei provini				
Provini	Granulometria	Tempo di essiccazione	Peso	Densità
3.1.1	3,15-4,99 mm	30 giorni	2,154 kg	638,22 kg/m ³
3.1.2	3,15-4,99 mm	30 giorni	2,116 kg	626,96 kg/m ³
3.1.3	3,15-4,99 mm	30 giorni	2,150 kg	637,04 kg/m ³
4.1.1	5-6,29 mm	30 giorni	2,214 kg	656 kg/m ³
4.1.2	5-6,29 mm	30 giorni	2,222 kg	658,37 kg/m ³
4.1.3	5-6,29 mm	30 giorni	2,256 kg	668,44 kg/m ³

Tab. 7 Massa volumica dei provini cubici con un legante di 350 kg/m³ e maturazione di 30 giorni.

Si precisa che la pressa è stata revisionata nel 2017, tuttavia il grado di precisione è inferiore all'apparecchiatura a controllo numerico di Vicat (paragrafo 7.1).

A differenza della strumentazione di Vicat, che permette di impostare la deformazione (3 mm/min) per ottenere la tensione massima prima della rottura del campione, l'apparecchiatura del LASTIN consente di calibrare il carico F (kN) e il tempo (T), ma non le deformazioni. In seguito a queste considerazioni, per ottenere le stesse condizioni di prova effettuate nei laboratori di L'Isle d'Abeau (paragrafo 7.1) è stato impostato un fondo scala di $0,67 \pm 0,03$ MPa (la tensione massima prima della rottura dei provini francesi è di 0,62 MPa) in un tempo di 932 secondi (15,53 minuti). Visto che 1 MPa corrisponde a 1 N/mm², il fondo scala (F) è stato ottenuto con la seguente formula:

$$F \text{ (kN)} = \text{Tensione massima (N/mm}^2\text{)} \times A_{\text{provino}} / 1000 = 15,19 \text{ kN}$$

Inoltre, è stato calcolato l'incremento (i) del carico (F) sulla superficie dei provini (A) nell'unità di tempo (T) con la formula fornita dal manuale di "Istruzioni macchina universale a comando idraulico con

misuratore a pendolo 24312030, carico max 300 kN":

$$T = \text{Fondo scala (kN)} / \text{incremento di carico (kN/mm}^2 \times \text{s)} \times A \text{ (mm}^2\text{)} = F / i \times A$$

Da cui è stato ottenuto:

$$i = F \text{ (kN)} / T \text{ (s)} \times A \text{ (mm}^2\text{)} = 15,19 \text{ (kN)} / 932 \text{ (s)} \times (150 \times 150 \text{ mm}) = 7,24 \times 10^{-7} \text{ KN} / \text{s} \times \text{mm}^2.$$

In seguito alla calibrazione della pressa, è stato effettuato un test preliminare sul provino 4.1.1, tuttavia l'errato posizionamento del campione ha provocato la rottura della superficie laterale dopo 4 minuti



Fig. 7.7 Fessurazione del campione 4.1.1.

Provino 3.1.1					
Tempo	Carico (MPa)	Incremento di carico (MPa)	Deformazione (mm)	Incremento deformazione (mm)	Percentuale deformazione (%)
1	0,097	0,097	1,1	1,1	0,73
2	0,131	0,034	2,4	1,3	1,60
3	0,168	0,038	3,8	1,4	2,53
4	0,208	0,039	5,2	1,4	3,47
5	0,244	0,037	6,5	1,3	4,33
6	0,266	0,041	7,8	1,3	5,20
7	0,331	0,045	9,3	1,5	6,20
8	0,371	0,040	10,7	1,4	7,13
9	0,414	0,044	12,2	1,5	8,13
10	0,452	0,038	13,6	1,4	9,07
11	0,493	0,041	15,1	1,5	10,07
12	0,538	0,044	16,9	1,8	11,27
13	0,578	0,040	18,6	1,7	12,40
14	0,623	0,044	20,5	1,9	13,67
15	0,667	0,044	22,3	1,8	14,87

Tab. 8 Dati relativi alle condizioni di carico e deformazione nel tempo riferiti al provino 3.1.1

in condizioni di carico di 3,21 kN e una deformazione di 24 mm (fig. 7.7).

Nella tabella 8 sono stati riportati i dati ottenuti dalla apparecchiatura del LASTIN, relativi al carico (MPa) e alla deformazione (mm). I valori dell'incremento di carico e di deformazione nel tempo sono stati calcolati a intervalli di 1 minuto per poter definire se i due parametri abbiano avuto un andamento costante precedente alla fase di rottura. Tuttavia, non è stato possibile definire con precisione l'istante in cui è avvenuta la rottura dei campioni. Dai grafici riferiti al provino 3.1.1 si è

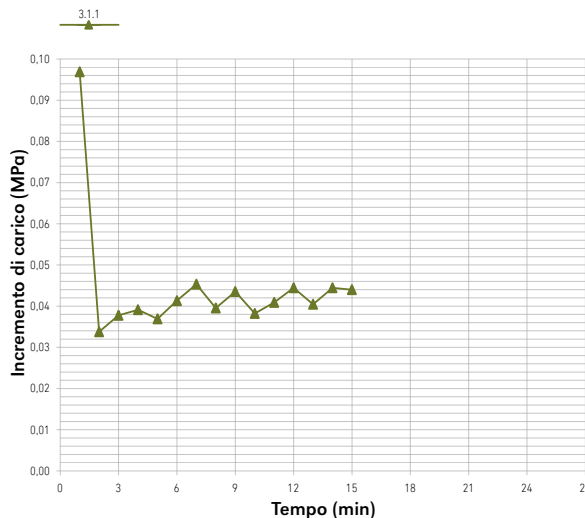


Fig. 7.8 Incremento di carico nel tempo del provino 3.1.1

notato che il carico applicato nel tempo (fig. 7.8) e l'incremento delle deformazioni (fig. 7.9) è sempre costante. Si precisa che, la prova a compressione ha avuto inizio dopo 1 minuto, in seguito alla stabilizzazione dell'apparecchiatura sulla superficie del provino. Nell'intervallo di tempo compreso tra 12 e 15 minuti, l'incremento delle deformazioni che si sono verificate (evidenziate in blu), non sono state determinate da un incremento di carico, ma da una minore resistenza del provino (fase di fessurazione). Inoltre, dal diagramma tensione-deformazione (fig.

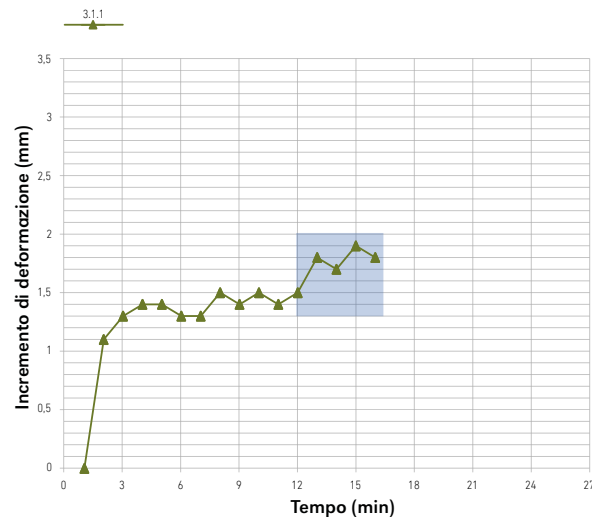


Fig. 7.9 Incremento delle deformazioni nel tempo del provino 3.1.1

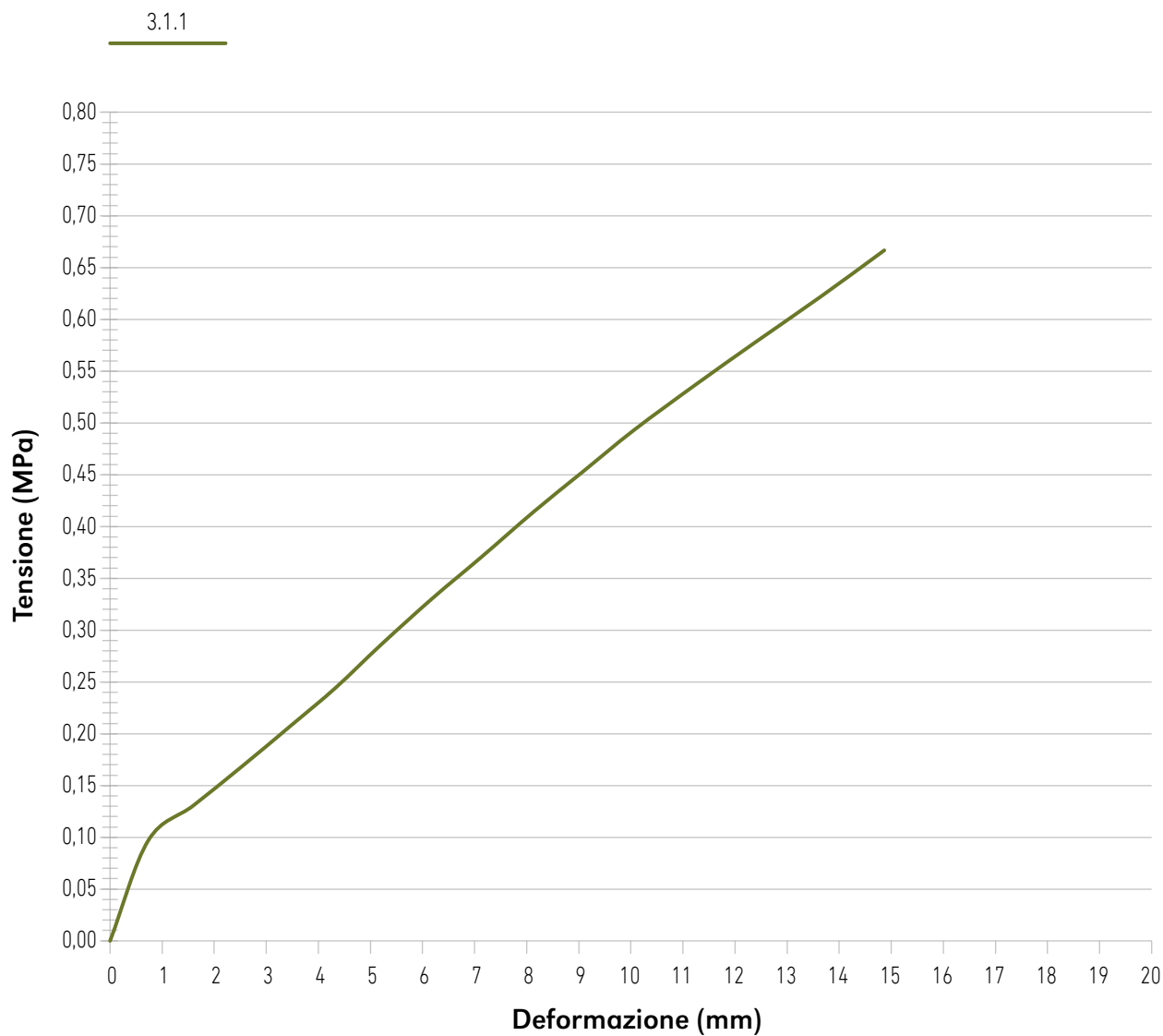


Fig. 7.10 Grafico tensione-deformazione del provino 3.1.1.

7.10) è stato riscontrato che la pendenza della retta sia costante, poiché il provino si deforma maggiormente al crescere del carico. Tale tendenza rimane costante fino alla fase in cui avviene un distacco di materiale, stimata intorno ai 12-13 minuti. Inoltre, il fondo scala della pressa ($0,67 \pm 0,03$ MPa), raggiunto dopo 15 minuti, non ha permesso di identificare visivamente la rottura dei campioni. Tuttavia, al termine della prova, il provino 3.1.3 è stato misurato e ha registrato un abbassamento di 15 mm (fig. 7.11); successivamente è stato deciso di aumentare il fondo scala a 0,88 MPa, che ha provocato, a 16 minuti, il collasso del conglomerato (fig. 7.12).

In seguito, nelle fig. 7.13 - 7.20 sono stati riportati i grafici dell'incremento delle deformazioni nel tempo e delle tensione-deformazioni relativi ai provini 3.1.2 - 4.1.3, mentre nella tabella 10 sono riportati i valori medi delle resistenze a compressione per deformazioni del 3%, 5%, 10% e il valore massimo raggiunto per il fondo scala di $0,67 \pm 0,03$ MPa.

A differenza dei campioni con un dosaggio di legante 350 kg/m^3 e con tutolo al naturale, testati nei laboratori di Vicat (paragrafo 7.1), i provini analizzati al LASTIN contenenti



Fig. 7.11 Abbassamento del provino 3.1.3.



Fig. 7.12 Collasso del provino 3.1.3.

il tutolo industrializzato e la paglia di riso, con la medesima quantità di legante hanno un comportamento più duttile. Si sono verificate resistenze meccaniche medie del 0,39 MPa per deformazioni del 7%, anziché del 3% (fig.7.21). Questo andamento è determinato dalla presenza delle fibre all'interno del conglomerato

(paglia di riso), che ha reso i valori delle deformazioni (5-10%) paragonabili ai prodotti a base di canapulo (paragrafo 7.1). Inoltre, la granulometria calibrata ha permesso di ottenere degli scostamenti inferiori (tensioni-deformazioni) rispetto al tutolo al naturale, in seguito ad una migliore compattazione dell'impasto.

Provini	Proprietà meccaniche dei provini a 30 giorni				
	R.c Max (MPa)	R.c a 3% di deformazione (MPa)	R.c a 5% di deformazione (MPa)	R.c a 10% di deformazione (MPa)	Deformazione a R.c Max (%)
3.1.1	0,67	0,21	0,27	0,49	14,87
3.1.2	0,67	0,18	0,27	0,50	14,60
3.1.3	0,67	0,19	0,29	0,5	14,93
Legante Prompt 350 kg/m³	0,67	0,19	0,27	0,50	14,8
4.1.2	0,58	0,16	0,24	0,46	12,60
4.1.3	0,54	0,16	0,22	0,37	16,40
Legante Prompt 350 kg/m³	0,56	0,16	0,23	0,42	14,50

Tab. 9 Proprietà meccaniche dei campioni con legante 350 kg/m³ a 30giorni di maturazione.

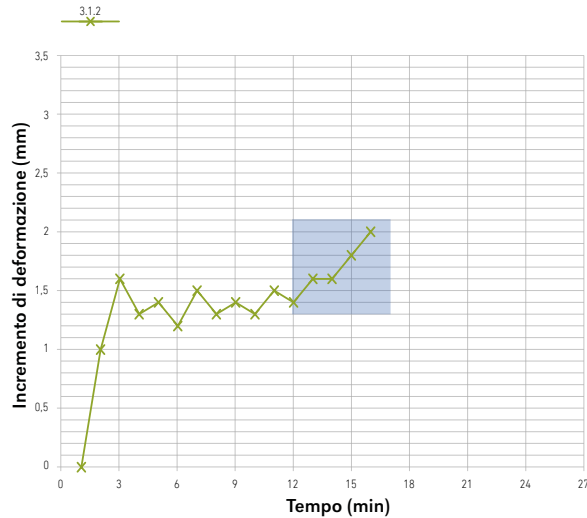


Fig. 7.13 Incremento delle deformazione nel tempo del provino 3.1.2.

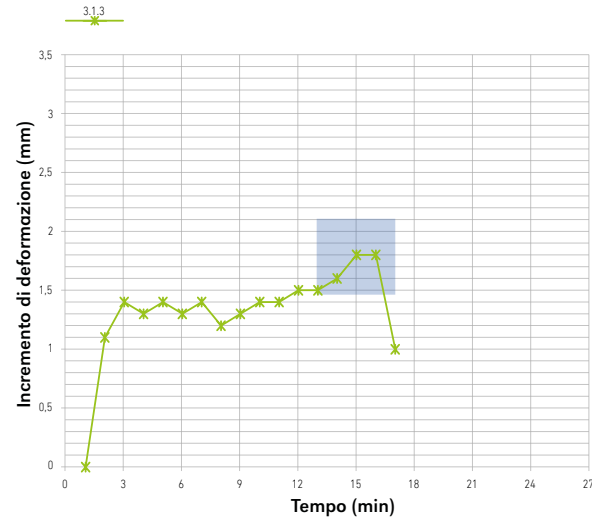


Fig. 7.15 Incremento delle deformazione nel tempo del provino 3.1.3.

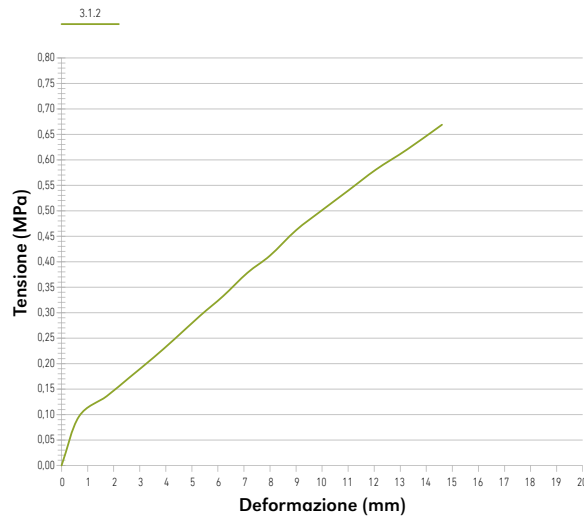


Fig. 7.14 Grafico tensione-deformazione del provino 3.1.2.

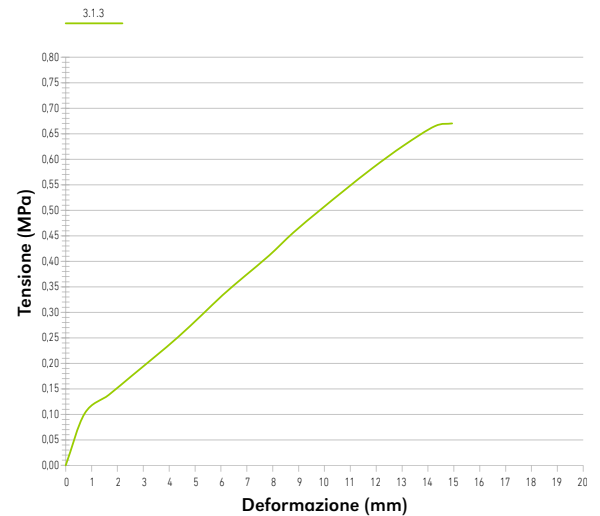


Fig. 7.16 Grafico tensione-deformazione del provino 3.1.3.

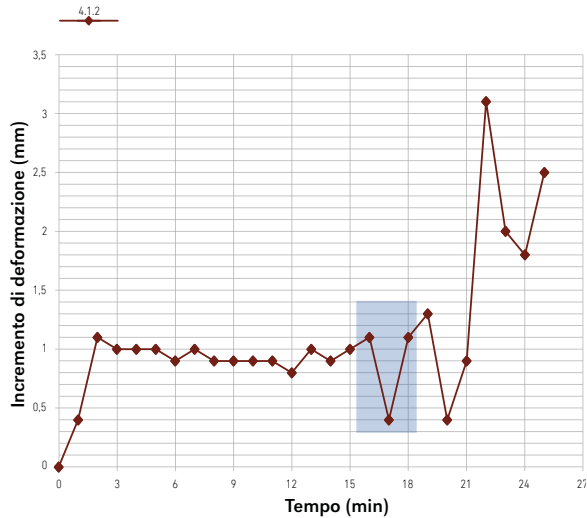


Fig. 7.17 Incremento delle deformazione nel tempo del provino 4.1.2.

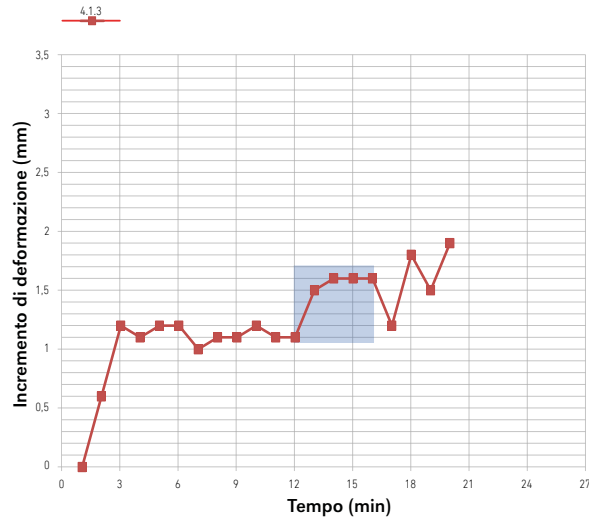


Fig. 7.19 Incremento delle deformazione nel tempo del provino 4.1.3.

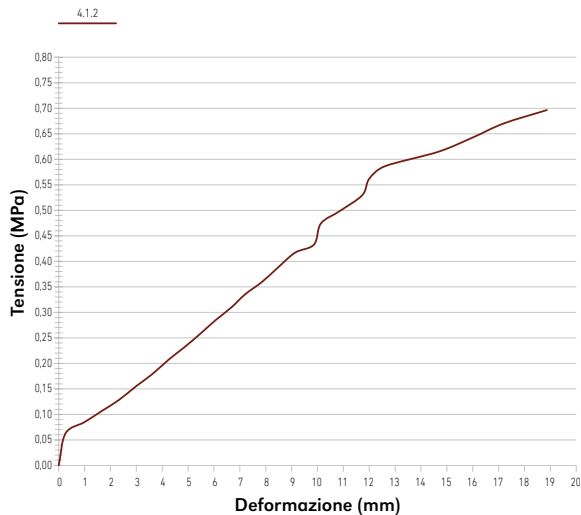


Fig. 7.18 Grafico tensione-deformazione del provino 4.1.2.

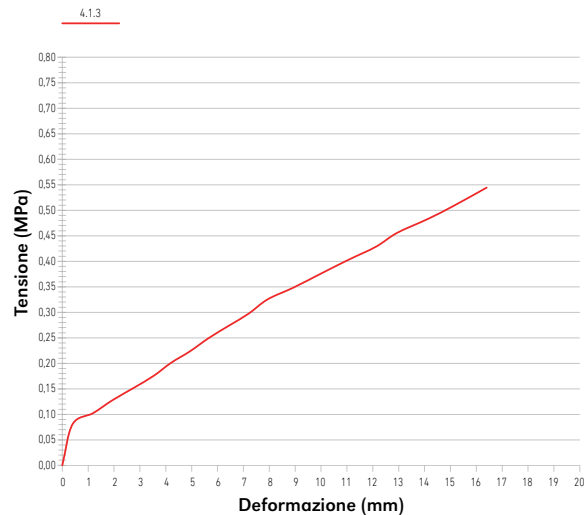


Fig. 7.20 Grafico tensione-deformazione del provino 4.1.3.

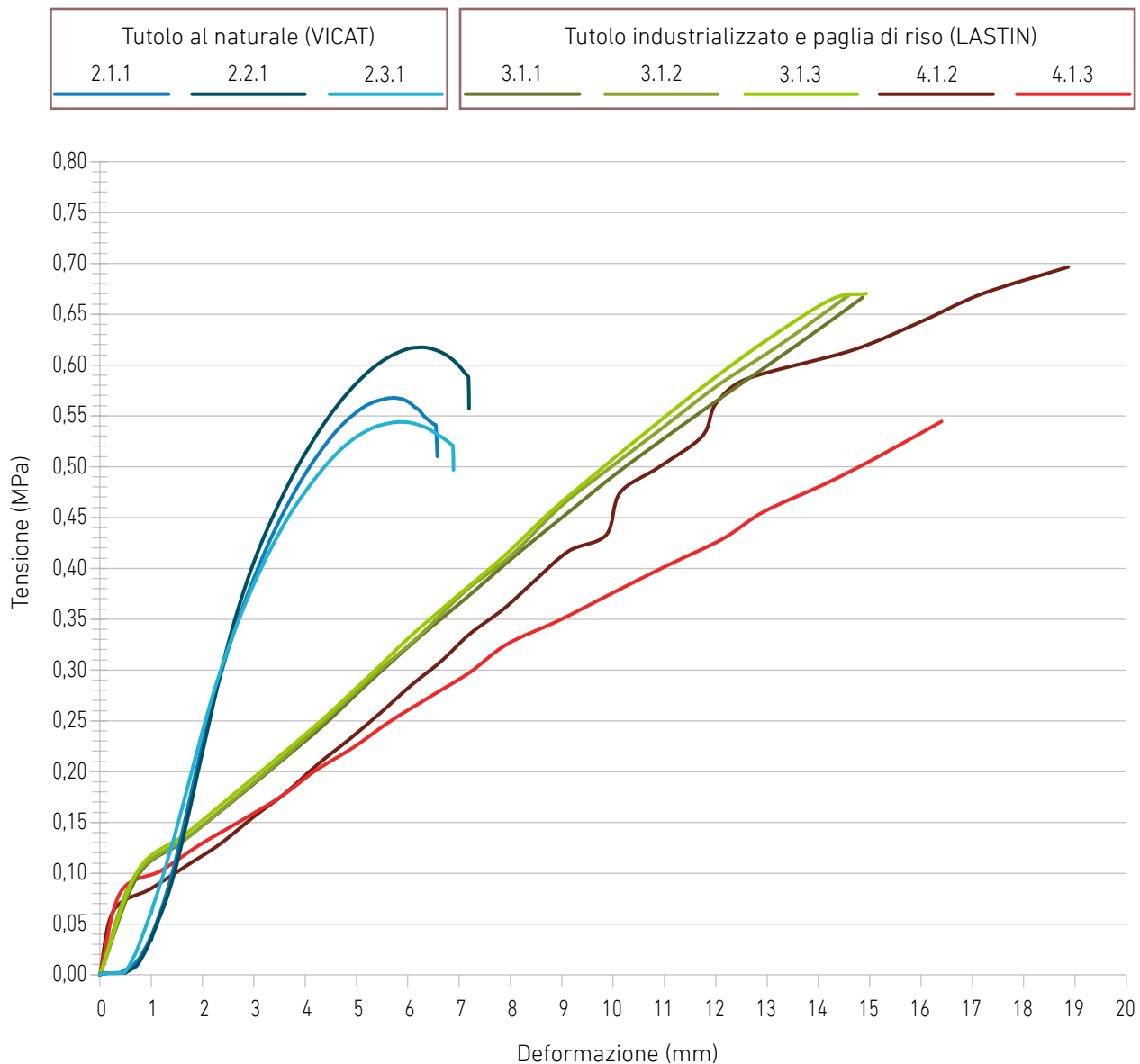


Fig. 7.21 Grafico tensione-deformazione dei provini realizzati al LASTIN e VICAT con dosaggio di legante a 350 kg/m^3 .

7.3 PRESTAZIONI TERMICHE DEI CONGLOMERATI

Nel laboratorio LASTIN del Politecnico di Torino sono state realizzate due losanghe 50x50x7 cm con volume di 0,0175 m³ (losanghe 2 e 3), che hanno riproposto le caratteristiche dei mix design 33 e 34 (paragrafo 6.4). In precedenza, presso l'azienda Sarotto Group, è stato confezionata la losanga 1 (paragrafo 6.3) avente le medesime dimensioni e volume.

Le tre losanghe stagionate per 70 giorni (losanga 1) e 30 giorni (losanga 2 e 3) sono state essiccate in un forno ventilato (fig.7.6) a T= 50 °C, al fine di trascurare l'incidenza dell'acqua sulla conduttività termica (λ). Sebbene la UNI EN 12664:2002 (paragrafo 1.2) preveda un'asciugatura a T= 105-110°C e a UR= 50%±5%, i campioni sono stati essiccati a temperature inferiori per evitare la disgregazione in seguito ad un ritiro istantaneo dell'aggregato igroscopico contenuto nel conglomerato.

Nei laboratori del Dipartimento Energia (DENERG) del Politecnico di Torino sono stati effettuati i test con un misuratore di calore a flusso di gas di protezione (GHFM) a campione singolo. Il dispositivo Lasercomp FOX600 (fig.7.7) è costituito nella zona centrale da sensori (254x254 mm), circondati da un anello di guardia di



Fig. 7.6 Essiccazione delle losanghe in forno a T=50 °C.



Fig. 7.7 Piastra calda con anello di guardia Lasercomp Fox600.

178 mm, che misurano il flusso di calore e la temperatura, in condizioni stazionarie. Tuttavia, i campioni sono stati realizzati con una superficie maggiore rispetto alle dimensioni dei sensori per evitare le dispersioni laterali del calore.

L'area dei provini deve essere piatta e parallela per facilitare l'inserimento all'interno del dispositivo. Inoltre, per evitare il danneggiamento dei piatti dello strumento e migliorare la complanarità delle facce dei campioni, sono stati inseriti due strati di gomma naturale (superficie superiore ed inferiore) con spessore di 0,2 cm, conduttività termica di 0,1356 W/mK e resistenza termica di 0,015 m²K/W (tab. 7). Le prove sono state effettuate ad una temperatura media T= 20 °C, piatto superiore a T= 25 °C e piatto inferiore a T= 15 °C. A titolo di esempio è stato riproposto

Tappetini in gomma naturale		
Spessore (s_t)	0,00202	m
Conduttività (λ_c)	0,1356	W/mK
Resistenza termica (R_t)	0,015	m ² K/W

Tabella 7 Proprietà dei tappetini

il calcolo della conduttività termica del campione in tutolo naturale, poiché lo strumento analizza lo spessore e i valori di resistenza termica totale del provino comprensivi di tappetini:

LOSANGA 1.

Dati:

1. Spessore tappetino (s_t): 0,00202 m.
2. Spessore totale (s_{tot}): 0,076 m.
3. Resistenza termica tappetino (R_t): 0,015 m²K/W.
4. Resistenza termica totale (R_{tot}): 0,803 m²K/W.

Determinazione della Resistenza termica del campione.

$$R_c = R_{tot} - R_t = 0,803 - (0,015 \times 2) = 0,773 \text{ m}^2\text{K/W.}$$

Determinazione dello spessore del campione.

$$s_c = s_{tot} - s_t = 0,076 - (0,00202 \times 2) = 0,072 \text{ m.}$$

Determinazione della Conduttività termica del campione.

$$\lambda_c = s_c / R_c = 0,072 / 0,773 = 0,093 \text{ W/mK.}$$

Determinazione della Trasmittanza termica del campione.

$$U_c = 1 / R_c = 1 / 0,773 = 1,294 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Inoltre, per confrontare le prestazioni termiche del prototipo ECOFFI con i prodotti di riferimento Biosys e Prespaglia (paragrafo 1.3), è stata calcolata la trasmittanza termica del blocco con spessore di 30 cm.

Determinazione della Resistenza termica del blocco ECOFFI (s=30 cm).

$$R_{\text{ECOFFI}} = s_{30} / \lambda_c = 0,3 / 0,093 = 3,229 \text{ m}^2\text{K/W}.$$

Determinazione della Trasmittanza termica del blocco ECOFFI (s=30 cm).

$$U_{\text{ECOFFI}} = 1 / R_{\text{ECOFFI}} = 1 / 3,229 = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

In seguito, è stata adottata la medesima procedura di calcolo per determinare i valori di: conduttività, resistenza termica e trasmittanza termica per le losanghe 2 e 3 (tab.8, 9 e 10).

Dal confronto della trasmittanza termica (fig. 7.8), che definisce la capacità di un materiale di scambiare energia termica in funzione della superficie e della variazione di temperatura, i valori ottenuti per le losanghe 1 (0,31 W/m²k), 2 (0,29 W/m²k)

e 3 (0,30 W/m²k) sono maggiori rispetto ai limiti imposti dalla normativa (paragrafo 1.3) per la fascia climatica E (0,26 W/m²k). Sebbene la trasmittanza termica del prototipo ECOFFI sia superiore al blocco Biosys (scheda prodotto CV_PPV_4), i valori evidenziati dai test sono in linea con il prodotto di riferimento Prespaglia (CV_PPV_1),

Inoltre, la capacità di isolamento termico

Losanga 1 (tutolo naturale)		
Resistenza termica totale	0,803	m ² K/W
Spessore totale	0,076	m
Resistenza termica campione	0,773	m ² K/W
Spessore campione	0,072	m
Conduttività termica campione	0,093	W/mK
Trasmittanza termica campione	1,294	W/m ² K
Prototipo blocco ECOFFI (tutolo naturale) s=30 cm		
Resistenza termica blocco	3,229	m ² K/W
Trasmittanza termica blocco	0,310	W/m ² K

Tabella 8 Proprietà termiche losanga 1.

di un materiale, dipende dalla massa volumica; di conseguenza il blocco in legante naturale e canapulo possiede delle prestazioni migliori a fronte di una densità minore (circa 288 kg/m³), rispetto a:

- la losanga 1 (circa 602,2 kg/m³);
- le losanghe 2, 3 (circa 540 kg/m³);
- l'Ecoblocco Prespaglia (circa 554 kg/m³).

Losanga 2 (tutolo ind. 3,15-4,99 mm + paglia)		
Resistenza termica totale	0,914	m ² K/W
Spessore totale	0,081	m
Resistenza termica campione	0,884	m ² K/W
Spessore campione	0,077	m
Conduktività termica campione	0,088	W/mK
Trasmittanza termica campione	1,132	W/m ² K
Prototipo blocco ECOFFI (tutolo industrializzato 3,15-4,99 mm + paglia) s=30 cm		
Resistenza termica blocco	3,423	m ² K/W
Trasmittanza termica blocco	0,292	W/m ² K

Tabella 9 Proprietà termiche losanga 2.

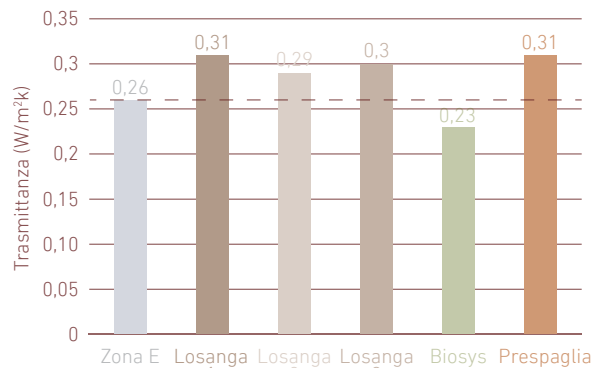


Fig. 7.8 Confronto tra trasmittanze termiche.

Losanga 3 (tutolo ind. 5-6,29 mm + paglia)		
Resistenza termica totale	0,811	m ² K/W
Spessore totale	0,074	m
Resistenza termica campione	0,781	m ² K/W
Spessore campione	0,070	m
Conduktività termica campione	0,090	W/mK
Trasmittanza termica campione	1,281	W/m ² K
Prototipo blocco ECOFFI (tutolo industrializzato 5-6,29 mm + paglia) s=30 cm		
Resistenza termica blocco	3,329	m ² K/W
Trasmittanza termica blocco	0,300	W/m ² K

Tabella 10 Proprietà termiche losanga 3.

7.4 DETERMINAZIONE DELL'EMBODIED ENERGY

Il seguente paragrafo analizza la metodologia di calcolo per determinare gli impatti energetici relativi alla fase di reperimento delle materie prime (A1) per la realizzazione del prototipo ECOFFI, al fine di impostare un'analisi LCA nelle fasi successive al lavoro di tesi.

L'unità funzionale presa in esame, per il calcolo dell'Embodied Energy (paragrafo 1.3), è riferita ad 1 kg di prodotto finito (cemento Prompt, tutolo di mais e paglia di riso); in seguito sono stati stabiliti i confini del sistema (temporali e geografici) per il reperimento dei dati, in un arco temporale compreso tra il 2013 e il 2017 e limitati all'Unione Europea.

Inoltre, sono stati esclusi dall'analisi il contributo in termini energetici di acqua, ritardante di presa (perché minore del 2% in termini di peso sul totale) e la fase di trasporto in stabilimento delle materie prime (A2), in quanto non è stata ancora definita la filiera di approvvigionamento.

I valori di EE, per ogni componente che ha costituito il conglomerato, considerano il contributo dell'energia proveniente da fonti non rinnovabili e sono stati reperiti da:

- Vicat, produttore del cemento Prompt

(EPD riferita all'anno 2015);

- *"Materie vegetali per l'edilizia: Life Cycle Assessment del tutolo di mais"* (Carbonaro, C., Thiébat, F., 2013), studio condotto dal Politecnico di Torino sul tutolo di mais;
- Cambridge Engineering Selector (CES), banca dati da cui è stato ricavato il dato per la paglia di riso riferito all'anno 2017.

Nella tabella seguente (tab.11) si riporta l'analisi di inventario (Life Cycle Inventory) in cui sono identificati i componenti che costituiscono il conglomerato, la loro densità e la percentuale in peso riferita all'unità funzionale (1 kg).

LIFE CYCLE INVENTORY (LCI) di 1kg di prodotto		
Componente	Densità (kg/m³)	% in peso
Cemento Prompt	1.143 ca.	60 %
Tutolo di mais (3,15 - 4,99 mm)	377,20	32 %
Paglia di riso	92,34	8 %
Totale	540 ca.	100 %

Tabella. 2 Analisi di inventario dei componenti.

Si precisa che, il tutolo di mais e la paglia di riso sono stati considerati come residui di campo (sottoprodotti) e non co-prodotti, perciò non è stato aggiunto il 20% derivante dalla coltivazione del prodotto principale (riso e granella di mais).

L'EE del prototipo ECOFFI è stata calcolata con il seguente procedimento:

EMBODIED ENERGY.

Dati:

1. Cemento Prompt: 0,6 kg.
2. EE del cemento Prompt: 3,55 MJ/kg.
3. Tutolo di mais, granulometria 3,15-4,99 mm (sottoprodotto): 0,32 kg.
4. EE tutolo di mais: 0,16 MJ/kg.
5. Paglia di riso (sottoprodotto): 0,08 kg.
6. EE paglia di riso: 0,24 MJ/kg.

Determinazione dell'EE riferita alla quantità (1)

$$EE_{Prompt} = 0,6 \times 3,55 = 2,13 MJ.$$

Determinazione dell'EE riferita alla quantità (3)

$$EE_{tutolo\ di\ mais} = 0,32 \times 0,16 = 0,051 MJ.$$

Determinazione dell'EE riferita alla quantità (5)

$$EE_{paglia\ di\ riso} = 0,08 \times 0,24 = 0,019 MJ.$$

Determinazione dell'EE del prototipo ECOFFI.

$$EE_{ECOFFI} = 2,13 + 0,051 + 0,019 = 2,2 MJ.$$

CONCLUSIONI

Il lavoro di tesi ha analizzato la possibilità di riutilizzo dei residui agricoli per la realizzazione di conglomerati cementizi alleggeriti e ha permesso di confezionare il prototipo ECOFFI.

In virtù delle attività sui mix design, dalle prove sulla resistenza meccanica, sulle prestazioni termiche e sul calcolo dell'embodied energy, questo prodotto può trovare un impiego come parete perimetrale verticale (non portante) con funzione di isolamento termico (senza l'impiego di materiali isolanti che ne migliorino le prestazioni) nelle fasce climatiche A, B, C e D.

Inoltre, dal confronto con i prodotti di riferimento (fig.1), presenti sul mercato (Biosys e Prespaglia), ECOFFI possiede una resistenza meccanica simile al prodotto di Vicat (dosaggio di legante 250 kg/m³), tuttavia la massa volumica maggiore comporta un peggioramento delle prestazioni termiche, che rimangono in linea con il blocco Prespaglia.

Per quanto riguarda il reperimento delle materie prime (calcolati su scala nazionale), è stato dimostrato che gli aggregati presenti sul territorio piemontese garantiscono l'approvvigionamento nel settore edile.

Infine, dal calcolo dell'Embodied Energy, è stato riscontrato come l'impiego dei sottoprodotti delle colture di mais e riso, permetta di contenere il fabbisogno di energia primaria rispetto agli altri blocchi. Inoltre, utilizzando le stesse percentuali di aggregato e legante per il confezionamento di 1 kg di prodotto, è stata calcolata la convenienza economica del prototipo. Si precisa che, i prezzi delle materie prime sono riferiti a cataloghi disponibili online e si riscontra che ECOFFI abbia un valore di mercato inferiore al Biosys.

In conclusione, per il reperimento dell'aggregato in un'ottica di produzione industriale, la filiera del tutolo di mais si presenta consolidata sul territorio, tuttavia bisognerebbe migliorare il processo di setacciatura per ottenere una granulometria calibrata. Per quanto riguarda la filiera del riso, è necessario instaurare degli accordi tra chi produce il conglomerato cementizio (azienda Sarotto Group) con delle terze figure (aziende pilota) per ottimizzare la raccolta e lo stoccaggio.

Sebbene il prototipo ECOFFI abbia raggiunto delle prestazioni soddisfacenti e in linea con i prodotti presenti sul mercato, è

verosimile pensare che ulteriori interventi sul mix design possano migliorare le performance termiche, con l'aumento della quantità di paglia di riso e la diminuzione di legante naturale, per raggiungere una densità minore. Infine, per ottenere la

marcatatura CE, sarà necessario effettuare i test sulla permeabilità al vapore acqueo, sull'assorbimento di acqua per capillarità, sul comportamento al fuoco e sull'assorbimento acustico.

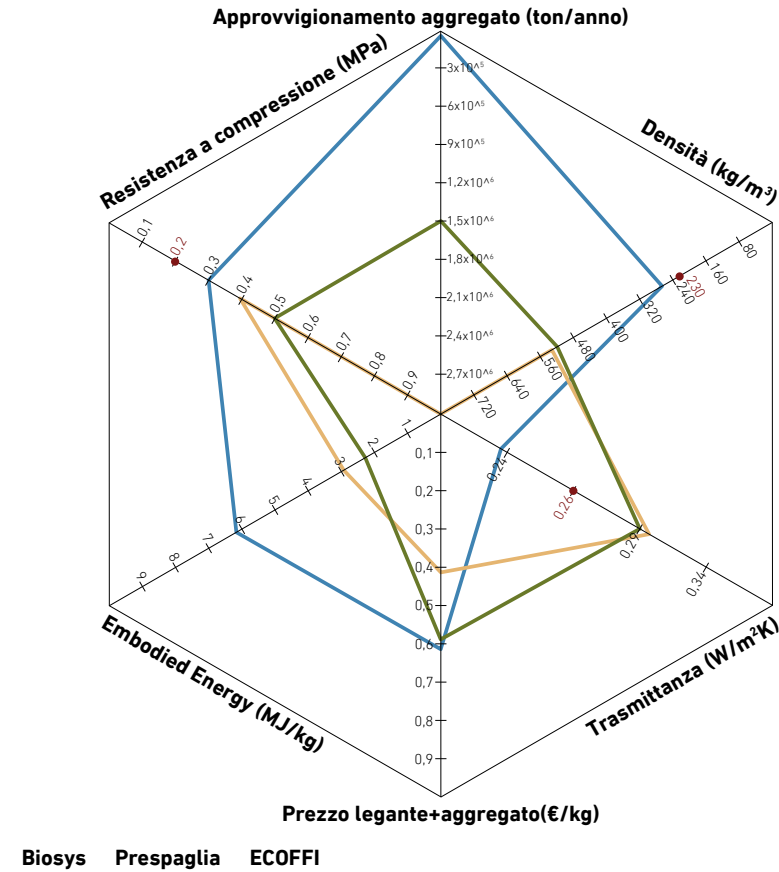


Fig.1 Grafico comparativo tra il prototipo ECOFFI e i prodotti Biosys e Prespaglia.

BIBLIOGRAFIA

MONOGRAFIE

GIORDANO, R., SCUDO, G., GROSSO, M., *I Prodotti per l'edilizia sostenibile. La compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Esselibri S.p.a., (2010).

VALLI, R., BATTINI, F., CORRADI, C., *Coltivazioni erbacee e arboree*, Milano, Edagricole Scolastico, (2005).

MAROCCO, A., LORENZONI, C., MAGGIORE, T., MARIANI, L., VERDERIO, A., et al., *Il Mais*, Collana Coltura&Cultura, n.4, Cesena, HRE Edizioni S.r.l, (2009).

TINARELLI, A., BOCCHI, S., FERRERO, A., ROMANI, M., et al., *Il Riso*, Collana Coltura&Cultura, n.7, Cesena, HRE Edizioni S.r.l, (2009).

BORASIO, L., *I sottoprodotti della coltivazione e della lavorazione del riso*, Biblioteca Civica di Vercelli, (1944).

VIGGIANI, P., D'EGIDIO, M., ANGELINI, R., SAVIOTTI, G.B., DI FONZO, N., et al., *Il Grano*, Collana Coltura&Cultura, n.1, Cesena, HRE Edizioni S.r.l, (2009).

TESI DI LAUREA

CEREZO, V., *Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique*, Tesi di dottorato. Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Francia, (2005).

Nozahic, V., *Vers une nouvelle demarche de conception des beton de vegetaux lignocellusiques basee sur la comprehension et l'amelioration de l'interface lian-vegetal*, Tesi di dottorato. Universite Blaise Pascal-Clermont II, Francia, (2012).

ATTI DI CONVEGNO/REPORT DI RICERCA

GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION (GABC), a cura di INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) ([Supervisione a cura di ABERGEL, T., DEAN, B., DULAC, J.]), *Global status report 2017*, Francia e Germania, (2017).

WWF, a cura di ALESSI, E., BOLOGNA, G., *Il clima nel piatto: Come uscire dal circolo vizioso che lega gli impatti del cambiamento climatico al cibo*, Roma, (2015).

UNITED NATIONS, *The Twenty-first Conference Of the Parties on Climate Change (COP21)*, Parigi, (2015).

COMMISSIONE EUROPEA, a cura di UNITÀ A1-ECO - INNOVAZIONE ED ECONOMIA CIRCOLARE ([Supervisione a cura di MIGLIORINI, P.]), *L'UE, la green economy e la circular economy*, Bruxelles-Roma, (2015).

ENAMA, a cura di COMMISSIONE TECNICA BIOMASSE ENAMA ([Supervisione a cura di MANCINI, M., BERTON, M., D'APOTE, L., et al.]), *Biomasse ed Energia*, Cap.1 *Caratteristiche Tecniche delle Biomasse e dei Combustibili*, Italia, (2011), pp. 7-14.

PINTO, J., VIEIRA, B., PEREIRA, H., et al., *Corn cob lightweight concrete for non-structural applications*, Portogallo, (2011).

FAUSTINO, J., SILVA, E., PINTO, J., et al., *Lightweight concrete masonry units based on processed granulate of corn cob as aggregate*, Portogallo, (2014).

CARBONARO, C., TEDESCO, S., SERRA, V., et al., *An integrated design approach to the development of a vegetale-based thermal plaster for the energy retrofit of buildings*, Politecnico Di Torino, Torino, (2010-2013).

DIPARTIMENTO 3A, EXTRAVALORE - PROGETTO MIPAAF BANDO SETTORE BIOENERGETICO DM 246/07, *I Sottoprodotti Agroforestali e Industriali a Base Rinnovabile - Normativa, recupero, conservazione, impiego, trasformazione e aspetti economici*, Vol.1 *I Sottoprodotti di interesse del DM 6.7.2012 - Inquadramento, Potenzialità e Valutazioni*, Università Politecnica Delle Marche, Ancona, 26-27 Settembre 2013.

OVEST SESIA, a cura di SARASSO, G., *Valutazione delle modalità operative dei cantieri di raccolta, di stoccaggio, trasporto, compresi i relativi costi della paglia di riso producibile nel comprensorio consortile*, Vercelli, (2007).

ENEA, a cura DEL DIPARTIMENTO ENERGIA ([Supervisione a cura di ZIMBARDI, P., CARDINALE, G., DEMICHELE, M., et al.]), *La lignina: una risorsa da valorizzare, Cap.2 Estrazione della lignina da paglia di grano sottoposta a trattamento di Steam Explosion*, Centro ricerche Trisaia, Policoro, (1995), pp. 8.

CARBONARO, C., THIÉBAT, F., a cura DEL DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA E DESIGN DEL POLITECNICO DI TORINO *"Materie vegetali per l'edilizia: Life Cycle Assessment del tutolo di mais"*, VII Convegno della Rete LCA, Milano, (27-28 Giugno 2013).

RIVISTE

BLANDINO, M., CALCAGNO, M., FERRERO, C., FABBRI, C., VANZETTI, C., REYNERI, A., *Tutolo, sottoprodotto del mais per uso energetico* in "L'Informatore Agrario". Verona, (2013), Allegato 43.

BORELLI, G., *Energia, ambiente e innovazione* in "ENEA Magazine". Frascati, (2018), Allegato 1, pp. 68-69.

BANCHE DATI/RICERCA BREVETTI

<https://www.sciencedirect.com/>

<https://www.matrec.com/>

<http://www.carbonsolutions.com/resources/>

<https://www.grantadesign.com/products/ces/>

<https://www.enterisi.it>

http://agri.istat.it/sag_is_pdwout/jsp/NewDownload.jsp?id=15A118A

https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html

<https://www.orbit.com/>

SITOGRAFIA

<https://www.google.it/>

<https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/altri/sostenibilita-materiali-costruzione-634/>

<https://www.lifegate.it/persona/stile-di-vita/efficienza-energetica-per-futuri-edifici>

<https://www.sarotto.it/>

<https://www.vicat.com/>

https://www.construire-en-chanvre.fr/sites/default/files/documents_publics/2011-07-01ProtocoleEssaisCenC-Ra%CC%88glesProVColla%CC%88geCDST-VF.3.pdf

<http://store.uni.com/catalogo/index.php/home/>

<https://www.enama.it/it/s/index.jsp>

<http://www.enea.it/>

<http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/884>

http://www.epditaly.it/wp-content/uploads/2018/03/2_Report-Buzzi-Unicem_EPD-cementi.pdf

<http://www.hevelius.it/webzine/leggi.php?codice=73>

<http://www.prespaglia.com/it/>

<http://www.bloc-biosys.fr/>

<https://www.blocchiisotex.com/>

<https://www.durisoluk.com/>

<http://ton-gruppe.it/>

<http://www.cmfgreentech.com/it/>

<https://www.novofibre.com/>

<https://www.celenit.com/>

<https://www.tecnosugheri.it/>

<https://www.hempflax.com/>

<https://www.biofib.com/>

<http://www.flachshaus.de/>

<http://www.agraria.org/coltivazionierbacee/granotenero.htm>

<http://www.confagricolturapiemonte.it/>

<http://www.piemonte.coldiretti.it/>

<https://terraoggi.it/>

<http://www.assomais.it/>

<http://www.ambiente.it/informazione/focus-on/sottoprodotti-novita-e-complicazioni.html>

<http://www.ambienteterritorio.coldiretti.it/Pagine/default.aspx>

<http://www.ambiente.it/>

<http://www.lastampa.it/2017/04/10/scienza/ferrero-il-guscio-delle-nocciole-diventa-materia-prima-IKN9iE0sEQiSLa4zSPoHwL/pagina.html>

<http://www.bosettiegatti.eu/>

<http://www.gazzettaufficiale.it/>

<https://www.puntosicuro.it/>

<http://www.senato.it/home>

<http://silcotorino.it/>

<http://www.agrind.it/>

<http://www.agraria.org/>

<http://www.lavorazionetutolofollador.it/>

<http://www.ruralp.it/>

<http://www.trattorisupermarket.it/it>

<https://www.caseih.com/emea/it-it>

<https://iaassassari.files.wordpress.com/2012/07/raccolta-foraggi.pdf>

<http://www.provincia.vercelli.it/>

http://www.diprove.unimi.it/agronomy/corso_dr_pecetti/slides19.pdf

<http://www.bv.camcom.gov.it/>

<https://www.fieradelriso.it/it/blog/post/come-si-semina-il-riso-risaia>

<http://www.stradadelrisovercellese.it/sai-di-riso/le-tecniche-di-coltura-del-riso/>

<http://www.agrinotizie.com/>

<http://www.informatoreagrario.it/>

<http://www.claas.it/>

http://amalteavete.unimi.it/docenti/lazzari/MecAgr/raccolta_foraggi/tradizionale/imbaltatrici_tipo.htm

http://ecomuseo.schole.it/index.php?option=com_content&task=view&id=186&Itemid=38&limit=1&limitstart=1

<http://www.agribionotizie.it/grano-tenero/>

<http://www.cersaa.it/>

http://www.al.camcom.gov.it/PriceLists/Pub/ArchiveChapter?id_level_1=1

LEGGI, DECRETI, DELIBERAZIONI REGIONALI E PROTOCOLLI

DM 16/02/2007, n.87 *"Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione"*.

CONSTRUIRE EN CHANVRE *"Protocoles d'essais pour la mesure des performances seuils des bétons de chanvre"*, Francia, (2007).

D.P.C.M 05/12/1997 *"Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici"*.

D.LGS. 26 GIUGNO 2015, n.162 *"Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici"*, Allegato 1.

DM 6/10/1997, n.242 *"Modificazioni ed integrazioni alla tabella relativa alle zone climatiche di appartenenza dei comuni italiani allegata al regolamento per gli impianti termici degli edifici, emanato con decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n.412"*, Allegato A.

D.LGS. 3 APRILE 2006, n.152 *"Norme in materia ambientale"*, Parte Quarta: *"Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati"* Articoli 177-185.

COMMISSIONE DELLE COMUNITÀ EUROPEE, *Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo, relativa alla Comunicazione interpretativa sui rifiuti e sui sottoprodotti*, Allegato II.

DIRETTIVA 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive.

D.LGS. 3 DICEMBRE 2010, n.205 *"Disposizioni di attuazione della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive"* Articoli 184-185.

DM 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”*, Allegato 1, pp. 78-79.

DECRETO 13 OTTOBRE 2016, n.264 *“Regolamento recante criteri indicativi per agevolare la dimostrazione della sussistenza dei requisiti per la qualifica dei residui di produzione come sottoprodotti e non come rifiuti”* Articoli 1-7, Allegato 1, sez.1.

D.LGS. 30 APRILE 1992, n.285 *“Nuovo codice della strada”* Articolo 61.

REGOLAMENTO PER L'ABBRUCIAMENTO DELLE STOPPIE DI RISO, Articoli 1-7.

D.LGS. 18 AGOSTO 2000, n.267 *“Testo unico delle leggi sull’ordinamento degli enti locali”* Articoli 1-7.

NORME TECNICHE

UNI 8290-1981 + A122:1983 *“Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia”*.

UNI EN 14992:2007 + A1:2012 *“Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Elementi da parete”*.

UNI 8990-1999 *“Isolamento termico - Determinazione delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario - Metodo della doppia camera calibrata e della doppia camera con anello di guardia”*.

UNI EN ISO 6946-2008 *“Componenti ed elementi per l’edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo”*.

UNI EN 206-1:2006 *“Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”*.

UNI EN 771-3:2015 *“Specifiche per elementi per muratura - Parte 3: Elementi di calcestruzzo vibrocompreso (aggregati pesanti e leggeri) per muratura”*.

UNI EN 772-1:2015 *“Metodi di prova per elementi per muratura - Parte 1: Determinazione*

della resistenza a compressione”.

UNI EN 772-2:2007 *“Metodi di prova per elementi di muratura - Parte 2: Determinazione dell'area percentuale dei vuoti in elementi di muratura (Metodo dell'impronta su carta)”.*

UNI EN 772-6:2002 *“Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione della resistenza a trazione per flessione degli elementi di muratura di calcestruzzo”.*

UNI EN 772-11:2011 *“Metodi di prova per elementi di muratura - Parte 11: Determinazione dell'assorbimento d'acqua degli elementi per muratura di calcestruzzo, di calcestruzzo aerato autoclavato, di materiale lapideo agglomerato e naturale dovuto alla capillarità ed al tasso iniziale di assorbimento d'acqua degli elementi per muratura di laterizio”.*

UNI EN 772-13:2002 *“Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione della massa volumica a secco assoluta e della massa volumica a secco apparente degli elementi di muratura (ad eccezione della pietra naturale)”.*

UNI EN 772-14:2003 *“Metodi di prova per elementi di muratura - Determinazione della variazione di umidità di elementi di muratura di calcestruzzo e di materiale lapideo agglomerato”.*

UNI EN 772-16:2011 *“Metodi di prova per elementi di muratura - Parte 16: Determinazione delle dimensioni”.*

UNI EN 772-20:2005 *“Metodi di prova per elementi di muratura - Parte 20: Determinazione della planarità delle facce degli elementi di muratura”.*

UNI EN 13501-1:2009 *“Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco”.*

UNI EN 12664:2002 *“Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per l'edilizia - Determinazione della resistenza termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo del termoflussimetro - Prodotti secchi e umidi con media e bassa resistenza termica”.*

UNI EN 12667:2002 *"Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per l'edilizia - Determinazione della resistenza termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo del termoflussimetro - Prodotti con alta e media resistenza termica"*.

UNI EN ISO 12572:2016 *"Prestazione igrometrica dei materiali e dei prodotti per l'edilizia - Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore d'acqua - Metodo del recipiente di prova"*.

UNI EN 1052-3:2007 *"Metodi di prova per muratura - Parte 3: determinazione della resistenza iniziale a taglio"*.

UNI EN 1052-2:2016 *"Metodi di prova per muratura - Determinazione della resistenza a flessione"*.

UNI EN ISO 11654:1998 *"Acustica - Assorbitori acustici per l'edilizia - Valutazione dell'assorbimento acustico"*.

ISO 11228-2:2007 *"Ergonomics -- Manual handling Pushing and pulling"*.

UNI EN ISO 14025:2010 *"Etichette e dichiarazioni ambientali - Dichiarazione ambientale di Tipo III - Principi e procedure"*.

UNI EN ISO 14040:2006 *"Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento"*.

ISO 3310-1:2016 *"Test sieves -- Technical requirements and testing. Test sieves of metal wire cloth"*.

ISO 3310-2:2013 *"Test sieves -- Technical requirements and testing. Test sieves of perforated metal plate"*.

UNI EN 12390-1:2012 *"Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme"*.

RINGRAZIAMENTI

A tutte le persone che ci hanno sostenuto mettendoci il cuore, il tempo e le conoscenze.

Un doveroso e sincero ringraziamento ai professori: Roberto Giordano, Elena Montacchini e Corrado Carbonaro per l'aiuto, la disponibilità e il supporto che ci ha incoraggiato e permesso di raggiungere questo traguardo.

Inoltre, vogliamo ringraziare Mauro Sarotto, Marco Capellari e Pasquale Giorgio per aver ascoltato le nostre esigenze, dedicandoci pazienza e tempo per dipanare i nostri dubbi.

Si ringraziano la docente Valentina Serra e Stefano Fantucci per aver concesso la possibilità di effettuare le prove termiche presso il Dipartimento Energia (DENERG) del Politecnico di Torino.

Proseguiamo con tutte le figure, le aziende ed enti con cui abbiamo collaborato per reperire il materiale: Marco Sarteur, Giuseppe Sarasso, Marco Visca, Vicat Group, Sarotto Group, Cooperativa Speranza di Candiolo, CAPAC, Silco s.r.l, Azienda agricola Perinotti Luigi e Giovanni, Confagricoltura Alessandria e Torino.

Infine, non ci sono parole per ringraziare le persone a noi più care: la famiglia, i parenti e gli amici; ogni giorno della nostra esistenza è una gratitudine nei vostri confronti. A voi è dedicata questa citazione: *“Le persone speciali sono quelle che ti mettono a posto senza spostare nulla.”*