

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO di INGEGNERIA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

**TESI DI LAUREA
IN
FISICA TECNICA AMBIENTALE L (C.I.)**

**Valutazione energetica su edifici costruiti con materiali
non convenzionali: la canapa**

Candidato:
Carminé Dedda

Relatore:
Chiar.mo Prof. Lamberto Tronchin

Correlatore:
Arch. Kristian Fabbri

Anno Accademico 2012/13

Sessione I

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1: CALCE & CANAPA	3
1.1 Canapa e canapicoltura	3
1.1.1 Declino della canapicoltura e il suo ritorno	7
1.2 Calce & Canapa: applicazioni	14
1.2.1 La calce	14
1.2.2 Biocomposito calce-canapa: caratteristiche e suoi utilizzi.....	15
1.2.3 Utilizzo del biocomposto calce-canapa in edilizia	19
1.2.4 Caratteristiche tecniche del biocomposito calce-canapa	27
1.3 Presentazione di realtà Made in Italy: “Equilibrium”	29
CAPITOLO 2: EDILIZIA AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA	31
2.1 L’importanza dell’edilizia dal punto di vista ambientale ed energetico	31
2.2 Edifici a energia quasi “zero”	34
2.3 La direttiva 2010/31/UE	34
2.4 La normativa Nazionale	37
2.5 La normativa Regionale	39
CAPITOLO 3: CASO STUDIO	47
3.1 Caso studio: generalità	47
3.2 Modello di calcolo: input ed output	49
3.3 Scenari con materiali tradizionali.....	50
3.4 Scenario con calce & canapa.....	56

CAPITOLO 4: RISULTATI	63
4.1 Relazione di calcolo: caso calce & canapa	63
4.2 Prestazioni energetiche.....	78
 CONCLUSIONI	81
 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	83

CAPITOLO 1

CALCE & CANAPA

La canapicoltura, che negli ultimi decenni è stata del tutto dimenticata o quantomeno ignorata, ha un antico e glorioso passato nella cultura contadina del nostro Paese, sia dal punto di vista sociale, sia dal punto di vista economico. Compito di questo primo capitolo è mostrare come la canapicoltura, prima di diventare una tradizionale coltura italiana, sia stata presente fin dall'Antichità dei Romani sulla nostra terra e, quindi, discutendone, tratterò brevemente la sua storia. Dopo una breve descrizione della calce, porrò l'attenzione sul biocomposito CALCE & CANAPA prodotto dall'azienda "Equilibrium", in particolare analizzerò le applicazioni in edilizia e le proprietà tecniche.

1.1 CANAPA E CANAPICOLTURA

Prima di iniziare a parlare dell'inserimento della canapa nell'edilizia, è opportuno fare una descrizione di questa pianta, sia dal punto di vista botanico, sia storico.



Fig. 1.1 Piantagione di canapa

La canapa è inclusa nella famiglia delle Cannabacee o Cannabinacee, che a sua volta appartiene all'ordine delle Urticali. Le Urticali sono generalmente piante legnose o erbacee con fiori poco appariscenti, che possono essere riuniti in gruppi oppure isolati. La famiglia delle Cannabacee è poi suddivisa in due generi: la Cannabis, che è il nome latino della

canapa e l'Humulus. Sono piante della flora spontanea dei paesi a clima temperato e, nel caso dell'Humulus, anche a clima temperato freddo dell'emisfero boreale.

Tutte le specie di Cannabacee, ed in misura maggiore la canapa, attraverso la formazione di particolari ghiandole, producono secrezioni contenenti un principio attivo il tetraidrocannabinolo, meglio conosciuto con la sigla THC.

Esistono due diverse classificazioni della canapa: la prima, seguita dalla maggiore parte dei botanici, è quella di D.E. Janichewsky (1924), un botanico russo che studiò vari esemplari di piante selvatiche e classificò la canapa in tre diverse specie:

- Cannabis sativa, alta fino a tre metri e dalla forma piramidale.
- Cannabis indica, più bassa e con un numero maggiore di rami e di foglie.
- Cannabis ruderalis, alta al massimo mezzo metro e priva di rami.

Alternativamente a questa e confermando la tesi dello svedese Carlo Linnè del 1753, i canadesi Small e Cronquist nel 1976 propongono una nuova classificazione affermando che esiste una sola specie molto variabile, la Cannabis, che è poi composta da due sottospecie:

- Sativa, tipica dei paesi settentrionali e usata per la fibra e l'olio.
- Indica, tipica dei paesi caldi e ricca di resina e THC.



Fig.1.2 Foglia di canapa (W. Miller)

Quello su cui poniamo la nostra attenzione è il manifestarsi della canapa nel corso del tempo, attraverso il racconto di poeti, scrittori e soprattutto documenti pubblici; si mostrerà così il profondo legame che unisce il nostro Paese a questa pianta. Gli studiosi sono concordi nel considerare la canapa originaria dell'Oriente, quindi della Russia, dell'Afghanistan, dell'Iran,

della Cina e dell'India, ovvero dell'Asia centrale, zona in cui la pianta si trova spontaneamente. Le prime testimonianze storiche sono contenute in antichissimi documenti cinesi risalenti all'epoca dell'impero di Shen Nung (2700 a.C.), dove la canapa è considerata come la prima pianta tessile allora in uso. In Cina, scritti riguardanti la pianta si susseguono senza interruzione, trattando le qualità medicinali, l'utilizzo per produrre carta già conosciuto nel 100 a.C. e le qualità nutrizionali (usata come cibo in tempi di carestia) come è descritto negli archivi di Tung- kuan nel 28 d.C.. Lo stesso vale per l'India, dove essa assume grande rilevanza in campo religioso. Per quanto riguarda il mondo greco-latino il primo a menzionarla è lo storico greco Erodoto di Alicarnasso vissuto tra il 490 e il 420 a.C. Nelle sue *Historiae* la ricorda come una coltura molto diffusa tra gli Sciiti, popolo situato nelle regioni del basso Danubio. Arrivata da oriente attraverso la Russia è quindi con gli Sciiti che arriva in Europa; infatti, già ai tempi dei Romani era utilizzata in campo militare, per costruire vele e corde per le imbarcazioni, utilizzo che è poi continuato fino al XIX secolo quando furono inventati i battelli a vapore. Furono le legioni romane a introdurla in Piemonte, dove era presente già nel 600 d.C. nella zona dell'odierna Casanova, per passare poi successivamente nel Carmagnolese e nel Canavese che da essa prende il nome. Nell'antichità classica la canapa era scarsamente diffusa, con un uso ristretto all'ambito domestico. La vera e propria affermazione avvenne nei primi secoli del Medioevo, al sorgere della civiltà dei comuni intorno al XI sec., quando coltivazione e lavorazione si erano ormai largamente diffuse nella pianura padana, soprattutto in Emilia e particolarmente nel Bolognese, da dove già proveniva la maggior parte della fibra utilizzata dai Romani. Una dettagliata descrizione della canapa nel Bolognese ci è offerta da Pietro de' Crescenzi, che nel IV capitolo del III libro del suo celeberrimo *De Agricoltura* dà suggerimenti sul modo di seminarla, coltivarla e macerarla. Così egli afferma: “chi desidera la canapa per funi deve seminarla in terra grassissima nella quale diventerà grande e avrà molta stoffa e grossa, per la grossezza della sua corteccia, mentre coloro che ne vorranno fare panni e, cioè, sacchi e lenzuola e camicie, la seminino in luoghi mezzanamente grassi, nei quali verrà senza rami, quasi in modo di gran lino e sarà convenevole a tutte le predette cose”. Ed aggiunge che “la canapa sarà necessaria ai pescatori per fare reti poiché meglio si difende nell'acqua che il lino”. Il De Crescenzi quindi dà anche un'idea degli usi industriali della pianta, soprattutto nel Bolognese che, a quel tempo, era il maggiore centro di produzione italiano. Questo si deduce anche da numerosi atti pubblici, come un decreto di Gregorio XI dell'8 novembre 1376, in cui si proibiva di “mandar fuori dello Stato di Bologna canape gregge non lavorate ed accomodate per non privare di lavoro 12000 operai gargiuolai, cardatori e tessitori,

impegnati nell'industria canapiera e riuniti in corporazioni". Avendo bisogno di una buona fibra, il problema non sussisteva tanto nel processo di trasformazione che veniva svolto dalle esperte maestranze veneziane, quanto piuttosto da quelle fasi di lavorazione che avvenivano nel mondo contadino come la macerazione, l'essiccamento delle piante, il loro immagazzinamento ed il trasporto. Come possiamo facilmente capire, l'interesse degli abitanti di questi paesi vennero a coincidere con l'interesse pubblico di Venezia e una serie di normative diedero il via a bonifiche, espropri dei beni comunali, creando così una produzione agricola volta al mercato, un vero e proprio capitalismo della campagna. Quanto alle regioni settentrionali, il Piemonte, ed in particolare la zona di Carmagnola, dove si alimentavano vivaci commerci regionali e importanti esportazioni di fibre e manufatti verso Genova e gli altri porti della Liguria. Qui, durante il XVII secolo, con l'inizio della produzione e della commercializzazione delle corde, ci fu una notevole migrazione di mastri cordai nella vicina Francia, e nel borgo di Viurso aprì nel 1617 la prima fabbrica per la produzione di corde destinate all'esercito sabaudo. Ben si evidenzia l'importanza attribuita alla pianta nell'ambito domestico: infatti, dopo aver estratto la fibra, si potevano fabbricare vestiti, fili e cordami per vari impieghi, mentre con il seme essiccato si cucinavano zuppe e decotti. Dall'espansione basso medioevale, la coltura assume sempre più prestigio, favorita anche dalla crescita dell'artigianato. L'utilizzo principale è quello per il tessile.



Fig. 1.3 La raccolta della canapa, di T. Von Hormann

1.1.1 Declino della canapicoltura e il suo ritorno

Anno	Superficie coltivata (ettari)	Produzione (quintali)
1870-1874	135.000	965.000
1879-1883	120.000	853.000
1890-1900	103.857	739.857
1914-1920	89.871	915.714
1921-1925	77.570	783.000
1926-1930	90.258	941.774
1931-1935	59.371	593.842
1936-1940	86.532	1.130.414
1941-1945	75.462	802.856
1950-1955	47.625	580.475
1956-1960	22.000	223.276
1960-1970	7.928	86.213

Fig. 1.4 Superficie coltivata di canapa e produzione 1870-1970

Fonti:

1870-1900 : A. Dell'Orefice, Note sulla canapicoltura nel Mezzogiorno d'Italia durante il XIX secolo, Napoli, 1983, pag. 25.

1914-1920 :P. Rossi, La canapa: ciò che insegna la canapicoltura di Terra di Lavoro agli agricoltori umbri, Spoleto, 1927, pag. 97.

1921-1945 : Enciclopedia Motta, volume Piante, alla voce "canapa" a cura del professore Francesco Crescini, Milano, 1977.

1950-1970 : S. Capasso, Canapicoltura e sviluppo dei Comuni atellani, Frattamaggiore, 1994, pag. 21.

La canapicoltura, coltura presente in Italia fin dall'antichità, dopo aver toccato livelli quantitativi poco più che simbolici nel 1970, in breve tempo scomparve del tutto dal suolo del nostro Paese, divenendo un lontano ricordo. Memoria di un mondo remoto, ormai soppiantato dalla meccanizzazione spinta delle lavorazioni agricole e dal mutamento dei gusti a proposito dei beni di consumo tessili delle fibre naturali. Come spiegare quell'infausto destino? Quali le ragioni del declino? Come cercherò di spiegare nel corso di questo paragrafo, le motivazioni alla base delle vicissitudini della coltivazione canapiera italiana furono essenzialmente due, strettamente collegate tra loro. La più evidente e più lontana nel tempo, fu la mancata industrializzazione di una coltivazione molto tradizionale che, in un'epoca di profondi cambiamenti come fu il XIX secolo, continuò ad utilizzare le tecniche

del passato; quelle tecniche tramandate senza mutamenti di generazione in generazione e contraddistinte dalla gran mole di lavoro intenso e faticoso che gravava sulle spalle dei contadini. I loro compiti non si esaurivano con le fasi semplicemente produttive, ovvero la preparazione del terreno, la semina ed il raccolto, ma riguardavano anche la filiera di lavorazioni volte ad estrarre la fibra dalla pianta; proprio a quelle onerose attività avrebbe dovuto rivolgersi l'interesse industriale, creando una vera e propria industria tessile e risolvendo quelle che assieme all'operazione della macerazione, erano le più grosse problematiche della coltivazione in questione. La canapicoltura non riuscì a modernizzarsi soprattutto per mancanza di capitali da investire, simbolo di una mentalità ben diversa da quella presente, nello stesso periodo, in altre nazioni, come gli Stati Uniti e l'Inghilterra dove, già a partire dalla seconda metà del XVIII secolo, erano sorte le prime fabbriche ed il capitalismo industriale aveva trovato terreno più che fertile. Proprio nei paesi anglosassoni nacque la grande industria tessile, la quale si occupò della fibra allora più coltivata: il cotone. L'industria tessile in Inghilterra era prevalentemente basata su prodotti in lino e lana, il cotone non aveva un ruolo centrale nell'economia del paese. La realizzazione di prodotti cotonieri fu completamente industrializzata e la canapa trovò sul proprio cammino un bene concorrente. Il nuovo sistema andò a contrapporsi alla produzione familiare ed artigianale, che contraddistingueva le vecchie colture come la canapa ed il lino. In breve tempo, il mercato internazionale fu inondato da manufatti in cotone e la canapicoltura ne subì fieri contraccolpi.

Oltre alla spietata competizione della nuova fibra, il consumo di canapa diminuì anche a causa della concorrenza di altre fibre extraeuropee, come la juta e l'abacà, dei cavi metallici usati nell'industria cantieristica, e, più avanti nel tempo, con la comparsa delle fibre sintetiche. La canapa italiana era di altissima qualità, il che rendeva possibile una notevole esportazione del prodotto, fatto che riuscì a mantenere la nostra canapicoltura su livelli accettabili, sia per quanto riguarda la superficie coltivata, sia per la produzione complessiva. Nel triennio 1930-1933, le problematiche annesse alla scarsa industrializzazione ed alla violenta concorrenza delle altre fibre, portarono ad una spaventosa crisi, dalla quale ci si poté riprendere solo dopo l'intervento del regime fascista. Fu instaurata una nuova politica economica, dalla quale la canapicoltura smise di essere un interesse privato per diventare quello di un'intera nazione; furono raggiunte le dimensioni del secolo precedente e sembrò che la coltivazione canapiera fosse rinata. Con la fine della Seconda Guerra Mondiale, ricominciò la tendenza negativa, che poi portò nel giro di un ventennio, alla totale sparizione della canapicoltura. Mentre negli Stati Uniti ed in Inghilterra si prendevano provvedimenti

protezionistici, che resero possibile un'ulteriore espansione della produzione cotoniera, i nostri governi adottarono in campo tessile una politica totalmente liberista. La canapicoltura, lasciata a se stessa, scomparve dal nostro territorio. La canapa, prodotto italiano, non poté contrapporsi al cotone, prodotto americano ed inglese, paesi più ricchi del nostro che, allora come oggi, ben detenevano le redini della politica e dell'economia mondiale.

Il secondo importante fattore che portò alla scomparsa della canapicoltura fu il proibizionismo. La prima nazione a proibirla fu l'Egitto nel 1879, seguito, l'anno successivo, dalla Grecia. Con l'avvento del nuovo secolo, le politiche proibizioniste contro le droghe furono introdotte in altri stati, in Giamaica nel 1923 e nel Sud Africa nel 1928. Anche in Italia i primi decreti contro gli stupefacenti risalgono al 1923, durante il regime fascista, che se da un lato esaltava la canapa per gli usi industriali, dall'altro considerava la variante 'indica' e l'hashish come "nemico della razza". Nel 1930 fu introdotta anche una norma penale per l'abuso ed il traffico, mentre consumo e detenzione rimanevano liberi. L'Italia, nel 1961, sottoscrisse una convenzione internazionale chiamata Convenzione Unica delle Sostanze Stupefacenti, che si poneva l'obiettivo di far sparire dal mondo la suddetta pianta in circa 25 anni. Anche in paesi dove la marijuana faceva parte delle tradizioni popolari, il proibizionismo, impostato dalla minoranza che deteneva il potere contro la volontà della maggioranza della popolazione, fu applicato; in Marocco e Nepal (ultimo paese membro dell'ONU ad approvare leggi repressive nel 1973), i contadini difesero con le armi i campi di canapa. Il proibizionismo nei confronti della marijuana, che si prefiggeva di debellare il problema droga fallì. Il proibizionismo della marijuana non riuscì a raggiungere il proprio obiettivo, ovvero l'eliminazione dell'uso psicotropo della suddetta sostanza, ma contribuì, se non alla riduzione ed alla successiva scomparsa, sicuramente a complicare il suo ritorno sia in ambito industriale, sia in campo medico. Le politiche proibizioniste, che cercarono di distinguere la canapa sativa, utilizzata nell'industria tessile ed utile in molti altri usi, dalla canapa indica, la marijuana, portarono paradossalmente a risultati contrari a quelli sperati. Fumare marijuana divenne un fenomeno di massa, mentre le varie applicazioni industriali della canapa furono accantonate. In conclusione la canapa in Italia era riuscita a sopportare la prima grande ondata sul mercato del cotone con le prime influenze della meccanizzazione, ma con la definitiva imposizione del capitalismo, non riuscì ad adattarsi. Questo perché, come per tutti i settori di produzione, richiedeva investimenti di grandi capitali, con conseguenti rischi, nessun imprenditore avrebbe puntato su un prodotto definito da campagne pubblicitarie come causa di tutti i mali, "la pianta con le radici nell'inferno" e come descritto in precedenza controllato da politiche incoerenti, così la canapa fu presto dimenticata.

Il ritorno della canapa

L'assenza di canapa dalle campagne del nostro Paese, incominciò precisamente nel 1978, quando furono abbandonati anche gli ultimi appezzamenti destinati alla canapicoltura; questa situazione durò all'incirca vent'anni, fino al 1998. In quell'anno il ministro delle Politiche Agricole Italiano, tenendo presente un disegno di legge proposto al Senato il 20 febbraio 1997 e constatando una ripresa della canapicoltura negli altri paesi europei, autorizzò la coltivazione della canapa limitatamente a 1.000 ettari di superficie, dando inoltre l'opportunità agli agricoltori interessati d'usufruire dei finanziamenti messi a disposizione dalla Comunità Europea. Grazie alla crescente richiesta di fibre vegetali, la canapicoltura tornò ad essere presente nella nostra agricoltura e, a tutt'oggi, numerosi progetti la riguardano.

In sede comunitaria europea, il primo passo per la reintroduzione di questa coltura risale al 1970 quando, con il regolamento n° 1308 del 29 Giugno 1970, furono stanziati aiuti economici forfettari per ogni ettaro coltivato a canapa, con l'obiettivo di regolare i mercati nel settore della suddetta pianta e del lino. Il regolamento C.E. 619/71 del 22 marzo 1971 fissò le norme generali per la concessione dell'aiuto, che veniva accordato solo per la coltivazione di determinate varietà, tra cui la Carmagnola e la Fibranova (sementi italiane), che avessero un contenuto di THC inferiore alla soglia del 0,3%. All'alba degli anni '90, nuovi interessi e nuove opinioni riuscirono a riportare l'attenzione sulle vicende di questa coltura. Questo ritorno della canapicoltura é avvenuto su basi completamente diverse rispetto al passato, quando agli agricoltori veniva richiesto l'impegno non solo per la coltivazione, ma anche per le successive fasi di macerazione e stigliatura. Inoltre, l'unico prodotto vendibile era la fibra lunga per la creazione di tessuti e cordami, ottenuta attraverso procedimenti che richiedevano enormi impieghi di manodopera. La moderna canapicoltura si sta invece sviluppando sia affidando all'industria tutte le fasi produttive post-raccolta, che ampliando i suoi utilizzi. Attualmente si possono ricavare 4 prodotti semilavorati per la successiva commercializzazione, da cui possono derivare un gran numero di prodotti finali di cui i più importanti sono riportati qui di seguito:

- Fibra lunga Tessuti per abbigliamento, arredamento, corde, tappeti
- Fibra corta Carta, feltri isolanti, geotessili, compositi
- Canapulo Pannelli isolanti, materiale inerte per l'edilizia, lettiere
- Semi Olio alimentare, cosmetica, vernici, resine

Come si può notare, i settori dove si introduce la canapa sono quelli che porgono i maggiori problemi in termini di depauperamento delle risorse naturali non rinnovabili. Attualmente

l'utilizzo più diffuso in Europa, insieme al campo tessile, è nel campo edile, rappresentando un'alternativa alla produzione di materiali altamente tossici per l'uomo, questo argomento sarà analizzato nei capitoli seguenti. La canapa quindi riuscì a trovare nuovi estimatori e sostenitori, soprattutto in seno al movimento ecologista. Le simpatie degli ecologisti derivavano anche dalle caratteristiche che la canapa ha nella sua coltivazione: coltura annuale, a basso impatto ambientale, non necessita di ulteriore irrigazione, non necessita di additivi chimici, di diserbanti industriali, ed in grado di risanare il terreno, sia integrandolo, cioè dandogli la possibilità di "riprodursi" che ripulendolo da metalli pesanti. Questo movimento ecologista non si interessò solamente ai problemi dell'agricoltura, ma auspicò anche un ritorno ed uno sviluppo dell'uso della canapa in vari settori industriali. Al motto "L'erba che può salvare il pianeta", vennero pubblicizzati dati di diverse ricerche che dimostravano come la canapa può essere utilizzata in vari settori industriali e, soprattutto, non trascurando il rispetto dell'ambiente. Canapa e canapicoltura vengono così ad identificarsi con il concetto di sviluppo sostenibile, cioè è un processo finalizzato al raggiungimento di obiettivi di miglioramento ambientale, economico, sociale ed istituzionale, sia a livello locale che globale. Tale processo lega quindi, in un rapporto di interdipendenza, la tutela e la valorizzazione delle risorse naturali alla dimensione economica, sociale ed istituzionale, al fine di soddisfare i bisogni delle attuali generazioni, evitando di compromettere la capacità delle future di soddisfare i propri. In questo senso la sostenibilità dello sviluppo è incompatibile con il degrado del patrimonio e delle risorse naturali che di fatto sono esauribili. Per tali motivi, la sostenibilità ruota attorno a quattro componenti fondamentali:

- **Sostenibilità economica:** intesa come capacità di generare reddito e lavoro per il sostentamento della popolazione.
- **Sostenibilità sociale:** intesa come capacità di garantire condizioni di benessere umano (sicurezza, salute, istruzione) equamente distribuite per classi e genere.
- **Sostenibilità ambientale:** intesa come capacità di mantenere qualità e riproducibilità delle risorse naturali.
- **Sostenibilità istituzionale:** intesa come capacità di assicurare condizioni di stabilità, democrazia, partecipazione.

L'area risultante dall'intersezione delle quattro componenti, coincide idealmente con lo sviluppo sostenibile. Per raggiungere questo obiettivo esistono principalmente due percorsi, quello delle energie alternative, e quello riguardante la riprogettazione del prodotto e del suo ciclo di vita. In campo energetico, il problema principale consiste nel ridurre l'uso dei

combustibili fossili, sostituendo quelli più dannosi, come il petrolio, con quelli meno nocivi. Per questo, dovrebbero aumentare gli investimenti nelle nuove fonti di energia, come il sole, l'idrogeno, il vento e le biomasse. Per quanto riguarda i prodotti ed il loro ciclo di vita, la via da percorrere è l'utilizzo di materiali che rendano possibile e non problematico il loro riciclaggio e riutilizzo. Come vedremo tra breve, quando analizzeremo gli utilizzi della canapa nei vari settori industriali, questa pianta risponde ad entrambe le esigenze sopra esposte. Grazie alla possibilità di utilizzare la canapa in vari settori industriali, combinando il profitto economico con la salvaguardia dell'ambiente, ed al rinnovato interesse per le proprietà terapeutiche del THC, sul finire degli anni '80 queste problematiche tornarono alla ribalta. Considerando i Paesi dell'Unione Europea, la superficie dedicata alla canapicoltura nel 1996 fu di 11.300 ettari, e l'anno successivo raggiunse i 22.000 ettari. Se nel 1989 erano solamente due i paesi comunitari che coltivavano canapa, la Francia e la Spagna, nel 1997 a questi si aggiunsero l'Austria, l'Inghilterra, la Germania, l'Olanda ed il Portogallo. Anche nel nostro Paese si riscontrò una ripresa d'interesse. Dopo la promulgazione della legge 162/'90 Jervolino-Vassalli, DPR 309/'90, che reintroduceva il concetto di reato legato all'assunzione oltre che al commercio, ci fu un notevole ripresa del movimento anti-proibizionista. Questo era guidato dal CORA, il Coordinamento Radicale Antiproibizionista, che nel 1992 riuscì ad indire un referendum a favore della depenalizzazione dell'utilizzo personale della canapa. Si ottenne così un'importante vittoria. Spagna, Inghilterra, Germania e Francia intrapresero diverse sperimentazioni industriali, ed in Svizzera la canapa fu commercializzata per scopi curativi, industriali e ornamentali. Nel nostro Paese, comunque, questo movimento restò in sordina. Nel 1994 e nel 1995, la sola canapa coltivata ufficialmente in Italia, tenuta chiaramente sotto lo stretto controllo delle forze dell'ordine, era quella dell'Istituto sperimentale per le colture industriali, ed anche i vari tentativi di coltivarla a scopo didattico (in Emilia e Val d'Aosta) furono duramente repressi. Due anni più tardi, però, nel 1997, grazie alla circolare ministeriale MIPA, la canapa e la canapicoltura poterono ritornare ad essere una realtà anche nel nostro Paese. A seguito del già citato disegno di legge presentato in Senato il 20 febbraio 1997, tenendo in considerazione la crescente richiesta di fibre vegetali e riscontrando una ripresa della coltura negli altri paesi europei, si autorizzò per il 1998 la coltivazione di 1.000 ettari nel territorio nazionale, mettendo inoltre a disposizione degli agricoltori interessati finanziamenti provenienti dalla Comunità Europea. Dal 1998 si è quindi ripreso a coltivare canapa da fibra e, grazie al contributo CEE di 1.300.000 lire per ettaro, sono stati seminati 255 ettari. Le regioni più attive sono state in ordine: l'Emilia-Romagna, il Piemonte, la Toscana, le Marche e la Campania. Sull'onda dell'entusiasmo per

la nuova situazione creatasi, nacquero in breve tempo molte associazioni interessate alla canapa ed ai suoi utilizzi industriali. Dopo che, nel 1998, fu avviata una sperimentazione agraria per la reintroduzione della coltivazione della canapa, nei comuni di Comacchio e Portomaggiore (in tutto 21 ettari, coltivati in modo continuo in maniera tale che la polizia possa controllare senza problemi), l'anno successivo fu decisa la costituzione del Consorzio. Ad esso aderiscono tutte le aziende che rappresentano il ciclo completo della filiera, l'Assessorato all'agricoltura, un gruppo di aziende locali, la Regione Emilia-Romagna ed addirittura anche la linea Jeans di Armani; Così ha dichiarato in un'intervista: "All'inizio ero un po' tiepido sul progetto, un po' titubante anche per via di questa foglia emblematica di certe cose. Poi ho preso coscienza che ciò che è naturale è vicino all'essere umano e che questa fibra andava recuperata per essere riportata ai valori che ha: una fibra eccezionale, con una consistenza morbida, più arrendevole del cotone, di gran durata e adattabilità con un risultato di grande scioltezza e quindi molto gradito sul mercato." L'interesse va dalla produzione alla commercializzazione, con particolare attenzione per l'utilizzo tessile, della carta, delle sementi e dei semilavorati in canapa. Anche in questo caso, l'obiettivo è dare avvio e sviluppo alla filiera della canapa, dalla coltivazione alla lavorazione, coinvolgendo i diversi settori merceologici nei quali la pianta può essere utilizzata. Comunque, il triennio 1998-2000 fu principalmente un periodo di sperimentazione. La superficie dedicata alla coltivazione della canapa passò dai 255 ettari del 1998 ai 180 ettari dell'anno successivo, e nel 2000 s'attestò sui 150 ettari. Gli incentivi comunitari non furono sufficienti per un rilancio della canapicoltura e, nel periodo considerato, molte furono le problematiche che vennero a galla. L'aspetto più discusso era quello economico, legato alla ricostruzione dell'intera filiera; nel nostro paese non esisteva più nessuna struttura di prima lavorazione del prodotto capace di fornire alle altre imprese i semilavorati. Bisognò così cercare nuovi utilizzatori intermedi e finali, capaci ed interessati ad acquistare ed impegnare la materia prima agricola, rendendo chiari i risultati economici garantiti agli agricoltori vogliosi di investire nella vecchia-nuova coltivazione. Dobbiamo anche tener presente che la canapa non veniva più coltivata nel nostro paese da parecchi anni e che, quindi, bisognava sviluppare le macchine più adeguate per la semina e per il raccolto, le tecniche per lo stoccaggio del prodotto, ed individuare quale attrezzo utilizzare per la stigliatura.

1.2 CALCE & CANAPA: APPLICAZIONI

1.2.1 La calce

La calce svolge un ruolo primario nella composizione del biocomposito, esso svolge il ruolo di legante ovvero serve per legare e tenere insieme i pezzi di canapulo, inoltre ogni miscela calce-canapulo può contenere una quantità differente di calce rispetto al canapulo. Perciò ogni miscela con un rapporto calce-canapa differente possiede proprietà fisiche ben distinte e quindi differenti utilizzi in edilizia.

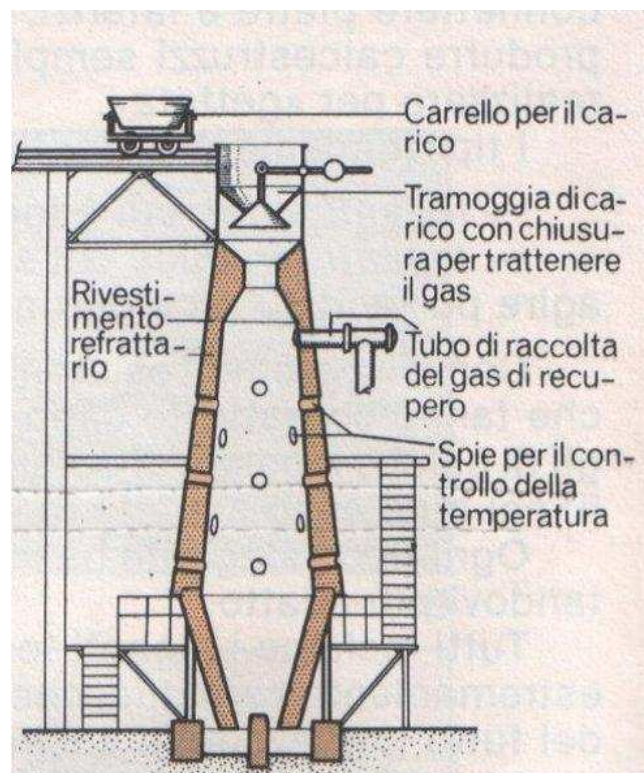
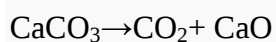


Fig. 1.5 Altoforno produzione calce

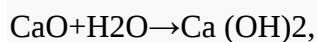
La calce Legante costituito da ossido di calcio, usato per la composizione di malte: aeree, se impastato con aggregati sottili, inerti (sabbie calcaree o silicee), idrauliche, se impastato con leganti idraulicizzanti (pozzolana, Trass ecc.).

L'ossido di calcio, sempre più o meno impuro, è ottenuto dalla cottura di pietra calcarea a 850-900 °C. In queste condizioni il carbonato di calcio si dissocia rapidamente con sviluppo di anidride carbonica lasciando c. come residuo, secondo la reazione:



l'equilibrio è spostato completamente a destra per l'allontanamento della CO₂ gassosa. La cottura si effettua in forni a tino a funzionamento continuo, caricati dall'alto con il calcare, mentre lo scarico della c. avviene in basso senza sospendere il funzionamento del forno.

La c. viva così prodotta si presenta in zolle bianco-giallastre, arida al tatto e sonora; viene messa in commercio così o ridotta in polvere. All'aria reagisce rapidamente con l'acqua e con l'anidride carbonica; la reazione di idratazione (spegnimento della c.),



avviene con forte sviluppo di calore e con notevole aumento di volume. Se l'acqua impiegata è quella stechiometrica, si ottiene una polvere minuta (c. idrata); se la quantità di acqua è in eccesso (1,5 m³ per 500 kg di c.), si ottiene una pasta plastica e untuosa (grassello). Se l'acqua è in forte eccesso si ottiene una sospensione lattiginosa di idrato di c. in acqua, chiamata latte di c., dotata di forte reazione alcalina, impiegata per dare il bianco ai muri e per la disinfezione di fogne.

La c. è uno dei prodotti più importanti dell'industria chimica inorganica. La c. spenta (idrata o grassello) è impiegata, come materiale da costruzione, nella preparazione di malte aeree e di alcune malte idrauliche; nell'industria chimica, per la preparazione del cloruro di c., della soda, della potassa caustica, in agricoltura come correttivo dei terreni acidi; inoltre è usata come reattivo nella potabilizzazione delle acque, nella depurazione delle acque di rifiuto, nel trattamento dei fanghi. La c. idrata, prodotto di estinzione completa della c. viva in zolle, chimicamente corrispondente al composto $\text{Ca}(\text{OH})_2$, viene messa in commercio sotto il nome di fiore di c. o di c. idrata da costruzione a seconda del grado di finezza e di purezza; oltre a non contenere carbonato indecomposto in misura superiore al 6-15% non deve contenere c. stracotta, cioè cotta a temperatura troppo elevata e che tarda a idratarsi; impastata con acqua e sabbia o pozzolana forma la malta.

<http://www.treccani.it>

1.2.2 Biocomposito calce-canapa: caratteristiche e suoi utilizzi

La miscela di canapa e calce è un materiale biocomposito ottenuto dalla combinazione della parte legnosa dello stelo, ovvero il canapulo, ed un legante a base di calce idraulica con aggiunta di acqua. La miscela viene formulata, lavorata in impastatrice e quindi applicata a mano o a macchina, secondo gli impieghi. Successivamente alla messa in opera, il cemento calce-canapa indurisce per evaporazione dell'acqua, carbontazione e idratazione della calce. Il tipo di legante (calce aerea, calce idraulica ecc.), il tipo di canapa (lunghezza del canapulo, ecc.) e le loro proporzioni (quantità di calce e canapulo utilizzati), determinano materiali con caratteristiche e proprietà distinti, adatti ai differenti utilizzi in edilizia.

Alcune caratteristiche fisiche del calcecanapa (in funzione del mix e della messa in opera) sono:

- Massa volumica a secco: 300-900 kg/m³;
- Coefficiente di conduttività termica: 0.04 - 0.12 - W/mk;
- Calore specifico: 1.0 - 1.4 kJ/kg*K;
- Resistenza alla compressione: 0.2 - 1.0 N/mm².

La canapa funge da materiale riempitivo leggero, detto anche aggregato, mentre la calce funge da legante e conservante. Il canapulo è solitamente un sottoprodotto della lavorazione della fibra di canapa ed essendo naturalmente ricco di silice, aiuta l'indurimento della calce.

Una volta indurito, il

biocomposito si trasforma in un materiale rigido e leggero con ottime caratteristiche di isolamento e durezza. Il biocomposito calce-canapulo può essere impegnato nella costruzione di muratura massiccia alla stregua di un conglomerato cementizio, sia indipendentemente che come riempimento di una struttura di legno a travi e pilastri. Esso è tra le diverse tecniche ecocompatibili più importanti e promettenti ed è decisamente il linea con i tre pilastri dello sviluppo sostenibile: quello ambientale, quello sociale e quello economico. Dal punto di vista ambientale la miscela di calce e canapa è in grado di ridurre le emissioni di diossido di carbonio grazie alle sue proprietà di isolamento termico e di sequestrare CO₂ nella struttura degli edifici. Rende inoltre superfluo l'utilizzo di diversi materiali sintetici aiutando così a ridurre la dipendenza dai combustibili fossili, e data la riciclabilità della calce e la biodegradabilità della canapa risulta essere un materiale che non crea problemi di smaltimento: il biocomposito è riciclabile in quanto se sgretolato e reinpastato in betoniera con nuova calce e acqua può essere utilizzato per murature, sottofondi, e vespai; biodegradabile in quanto composto da legno e calcare. Dal punto di vista economico, il biocomposito è sostenibile in quanto è un materiale prodotto a livello locale, inoltre è in grado di collegare direttamente industria e agricoltura. Riduce la dipendenza da materiali da costruzione sintetici e la crescita dell'occupazione è una diretta conseguenza. Anche dal punto di vista sociale ha notevoli risvolti benefici. Poiché il settore agricolo è in declino nella maggior parte dei paesi sviluppati, la canapa diventerebbe per gli agricoltori una coltura e una fonte di guadagno. Inoltre l'ambiente salubre all'interno degli edifici di canapa è un ulteriore beneficio per la comunità. L'uso della canapa miscelata con la calce idraulica ha iniziato a diffondersi nell'industria edile nei primi anni '90. Sembra che tuttavia fosse una tecnica già conosciuta ed utilizzata circa 1500 anni fa, infatti è stato ritrovato, nel Sud della Francia, un ponte costruito con questo materiale conglomerato di calce e canapa che risale al periodo Merovingio, tra il 500 ed il 751 d.c. Più recentemente, l'uso del biocomposito di calce e canapa si è diffuso in Francia, nella regione di Troyes per la conservazione degli

edifici medievali con struttura in legno andando a sostituire gli antichi materiali di riempimento che prevedevano il tradizionale metodo “ a cannicciata di fango”. Il cemento biedilizio è stato scoperto come soluzione per i danni causati dall'utilizzo improprio del cemento, in quanto il riempimento prima veniva coperto con intonaco a base di cemento e l'intrappolamento dell'umidità all'interno causava il rigonfiamento del riempimento e lo staccamento dell'intonaco.

Oggi in Francia esistono diverse centinaia di case costruite con il biocomposito di canapa e calce e circa 4000 tonnellate di canapulo vengono utilizzate dall'industria edile, per un fatturato totale di 35 milioni di Euro. Nel Regno Unito invece il cemento di calce e canapulo è un concetto piuttosto recente. Ufficialmente è stato Ralph Carpenter di Modece Architects il primo ad utilizzarlo in via sperimentale all'interno di un progetto di edilizia popolare nel sud dell'Inghilterra. L'intero progetto è stato monitorato e misurato da Building Research Establishment, una società di ricerca e consulenza specializzata in edilizia sostenibile, con il fine di investigare le proprietà strutturali, termiche, acustiche, di permeabilità e durevolezza, così come la riduzione dei rifiuti generata sul posto durante i lavori, l'impatto ambientale, ed i costi di costruzione. La ricerca sul cemento in calce e canapulo viene attualmente condotta in diverse università del Regno Unito. Essendo però questo cemento una innovazione del settore edile, non è ancora coperto da linee guide ufficiali. Per questo motivo, nel 2006, diverse aziende e professionisti si sono uniti per formare la Hemp Lime Construction Products Association. Tra i suoi fini vi è quello di promuovere l'uso del biocomposito di canapa e calce all'interno dell'industria edile britannica e quello di promuovere i suoi benefici rispetto ai metodi costruttivi più ricorrenti. Il biocomposito di calce e canapulo si presta ad una vasta gamma di applicazioni, incluse quelle domestiche, industriali e commerciali.

La miscela del biocomposito è un mix di tre ingredienti, ovvero: la calce che funge da legante, il canapulo che ne dà la consistenza e infine l'acqua che assicura la reazione chimica tra il legante e la canapa oltre a rendere la miscela fluida e facilmente lavorabile; esattamente l'opposto della maggior parte dei materiali isolanti. La fluidità della miscela consente al materiale di adattarsi alla superficie alla quale viene applicata, di entrare in ogni angolo ed interstizio, di essere livellato e compattato, in modo da assicurare una perfetta barriera all'aria una volta asciugato e indurito. La possibilità che la miscela possa essere formata e usata in diversi modi (per es. quantità di legante e spessore) fa sì che il prodotto possa soddisfare diverse esigenze. La miscela di canapa con un basso contenuto di legante ha una migliore capacità di isolamento termico, ma una volta indurita deve essere sostenuta (tetti e interstizi di muri). Con l'aggiunta di una maggiore quantità di legante, la miscela diventa più

densa e autoportante, e può essere usata per formare muratura di tamponamento o isolamento di pavimenti.

La miscela viene preparata con un miscelatore orizzontale o betoniera da cantiere. La betoniera viene solitamente usata quando lo spazio a disposizione è limitato. Il miscelatore orizzontale ha una capacità di carico maggiore e produce una miscela migliore. Il processo di miscelazione è molto importante per una corretta prestazione del composto una volta applicato. Il canapulo deve essere prima bagnato. Successivamente viene aggiunto il legante così da formare uno strato uniforme di calce attorno ad ogni singolo pezzetto di canapa. Durante il processo tendono a formarsi palle e grumi nel composto. E' quindi importante che vengano seguite correttamente le istruzioni e che la miscela venga aggiustata con acqua così da ottenere un prodotto finale omogeneo. Il processo di miscelazione deve essere effettuato nel seguente modo:

Gettare il canapulo nel miscelatore e aggiungere acqua - mezzo sacco di canapa (10kg) richiede circa 20 litri di acqua. Miscelare per 2-3 minuti. La canapa assorbirà l'acqua velocemente e diventerà leggermente umida. A questo punto aggiungere il legante lentamente e lasciare miscelare per 3-4 minuti. Infine aggiungere acqua se necessario a seconda delle condizioni atmosferiche.

Regole principali:

- Il prodotto finale deve essere umido ma non bagnato.
- La quantità di acqua varia a seconda della temperatura dell'aria – solitamente viene utilizzata più acqua nelle ore pomeridiane rispetto a quelle mattutine.
- Per testare il corretto contenuto d'acqua, prendere una manciata del prodotto finito, comprimere leggermente e riaprire la mano. Se la miscela rimane compatta come una palla il contenuto d'acqua è troppo elevato, se la miscela si sgretola il suo contenuto è troppo basso. Quando la miscela si espande leggermente il contenuto d'acqua è corretto.
- Il bisogno d'acqua varia a seconda delle proporzioni di legante usato.
- Quando viene utilizzata una betoniera è consigliato svuotare il legante in una carriola e caricare il miscelatore con un badile.(Fig 1.6)
- Il miscelatore orizzontale viene caricato dall'alto.
- Al termine della miscelazione i macchinari devono essere abbondantemente risciacquati. Eventuali grumi di legante formati sulle braccia del miscelatore devono essere rimossi.

Quando le condizioni meteorologiche e il tempo a disposizione lo permettono è consigliabile svuotare l'impasto di canapa (anche diversi carichi) su un foglio di cellophane, spargerlo con un rastrello e lasciarlo evaporare per un'ora o due prima dell'applicazione.



Fig. 1.6 Biocomposito canapa & calce dopo miscelazione

1.2.3 Utilizzo del biocomposito calce-canapa in edilizia

Di seguito vengono elencate alcune delle applicazioni del biocomposito calce-canapa prodotto dall'azienda Equilibrium che mi ha affiancato in questo lavoro di tesi:

- **Riempitivo isolante per muri**

La miscela in calce e canapa ha una resistenza a compressione di circa 0,2-0,1 N/mm e quindi non viene normalmente utilizzato in situazione di eccessivo carico. Il suo utilizzo è consigliato solitamente in combinazione con una struttura di legno per sostenere il peso strutturale (Fig. 1.7), oppure in alternativa con strutture in acciaio e cemento che sono comunque valide. La miscela (Natural Beton, con diversi rapporti tra calce e canapa) può essere pressata e versata all'interno dei pannelli di contenimento, oppure spruzzata utilizzando un pannello unico di contenimento permanente sia nella parte interna o esterna. Lo spessore del muro può variare da 200mm a 500mm, e non è necessario l'utilizzo di pannelli di rivestimento, barriere vapore, pannelli isolamenti o cellulosa soffiata. Inoltre l'intonacatura interna può essere evitata a differenza di quella esterna che è necessaria per proteggere il muro dagli agenti atmosferici. Poiché il materiale è disponibile anche in mattoni

(biomattoni, anch'essi dotati di un rapporto calce e canapa ben definito che ne identifica le proprietà e le caratteristiche tecniche e applicative), questi devono essere posati con cemento a base di calce che comunque è un'opzione più costosa e che fa perdere molti benefici



Fig. 1.7 Canapa e Calce su struttura in legno (Woolley e Bevan 2007)

- **Isolante per tetti e per pareti**

Avendo alte proprietà isolanti, il cemento di canapa e calce può essere applicato sui tetti utilizzando un pannello di contenimento interno e spruzzando il mix tra una trave ed un'altra. Secondo Allin (2005), la miscela deve contenere solo una piccola quantità di calce in grado di ricoprire le particelle di canapa e fissarle l'una con l'altra. La struttura non deve essere sovraccaricata e per questo motivo la miscela deve essere estremamente leggera. Inoltre sono previsti anche isolamenti delle pareti della casa

(pareti esterne, intercapedini, parete interna) (Fig. 1.8 e Fig. 1.9) mostrano un esempio di applicazioni sul tetto e su pareti.



Fig. 1.8 Cemento di canapa e calce come isolante per tetti (Woolley e Bevan 2007)



Fig. 1.9 Cemento di canapa e calce come isolante per pareti esterne

- **Cappotto isolante**

Il cappotto isolante è uno dei metodi oggi più utilizzati per evitare le dispersioni di calore da case ed edifici che devono essere ristrutturati oppure che sono poco o male coibentati. Una soluzione pratica, efficace e conveniente per isolare una struttura

intervenendo sulle pareti interno o esterne. Scegliere il cappotto isolante in canapa e calce significa ridurre notevolmente i consumi energetici e prestare attenzione verso le problematiche ambientali attuali. Il cappotto isolante con Natural Beton, rappresentato nella foto sottostante, è rappresentato da uno strato di materiale isolante in canapa e calce che viene applicato direttamente sui muri interni o esterni dell'edificio (fig. 1.10). Si tratta di un intervento rapido che non richiede di modificare i muri esistenti. Una volta applicato, il materiale isolante viene ricoperto da uno strato di intonaco, uno di rafforzamento e uno di finitura, in modo tale che venga preservata l'estetica pre-esistente dell'edificio. Oltre alla dispersione di calore, il cappotto termico impedisce la formazione di ponti termici interni che si vengono a creare in determinate zone della struttura dell'edificio, ad esempio dove è presente il calcestruzzo.



- **Intonaco isolante per muri (interni ed esterni)**

La miscela si è dimostrata efficace anche per lavori di intonacatura. Per produrre un materiale lavorabile, il mix deve contenere una maggiore quantità di calce. Oltre che negli edifici interamente realizzati con il biocomposito, l'intonaco di calce e canapa sta confermando il suo successo quando viene applicato sui muri tradizionali (fig. 1.11) e risulta estremamente efficace per l'upgrade termico di vecchie costruzioni con muri in sasso poiché riesce a mantenere le proprietà di isolante facendo fronte ad alcuni problemi di umidità e infine rimanendo caldo al tatto. Con il biocomposito si può realizzare una vasta gamma di intonaci, applicabili a mano e/o a macchina, anche in spessori superiori ai 10 cm, migliorando notevolmente il comfort termico e acustico della parete sottostante.



Fig. 1.11 Prima dell'applicazione Termo-Intonaco interno Isolante In Calce & Canapa
Castelmassa (RO)

Fig.1.11 Applicazione a macchina Termo-Intonaco interno Isolante In Calce & Canapa
Castelmassa (RO)



Fig. 1.12 Risultato dopo applicazione Termo-Intonaco interno Isolante In Calce & Canapa
Castelmassa (RO)

- **Soletta isolante per piani terra o intermedi e massetto isolante per pavimenti**

Il biocomposito bioedilizio può anche essere gettato in sostituzione dei sottofondi alleggeriti della soletta. Può servire come massetto ed è ideale per il riscaldamento a pavimento. Le piastrelle possono essere posate al di sopra, in modo da evitare l'impiego di materiali tossici sintetici

- **Costruzione di murature non portanti (blocchi, mattoni, pannelli)**

Blocchi e mattoni di Calcecanapa, allettati con legante di calce e canapa, assieme a getti di riempimento di calce e canapa trovano impiego nelle tamponature di strutture portanti (cemento armato, legno, acciaio, ecc.) e tramezzature interne. I blocchi e i mattoni sono fabbricati in diversi formati e possono essere pieni o cavi. (Fig. 1.13) Il biocomposto calcecanapa viene anche gettato direttamente in opera, all'interno di casseri, per la realizzazione di muri, contropareti ecc. I vantaggi del tamponamento con questi materiali sono: alte prestazioni di isolamento termico grazie ai valori di conduttività che variano da 0,05 a 0,07 W/mK, resistenza meccanica, isolamento acustico e inerzia termica al di sopra degli standard tradizionali, regolazione dell'umidità attraverso l'assorbimento ed il rilascio di vapore e la riciclabilità dei materiali. (Fig. 1.12)



Fig 1.13 Biomattone in calce & canapa

1.2.4 Caratteristiche tecniche del biocomposito calce-canapa

Successivamente sono elencate e analizzate le proprietà di questo nuovo cemento biocomposito di calce e canapa che solo in questi ultimi 10 anni, attraverso una ricerca scientifica costante, sono state scoperte e analizzate al fine di trovare la più giusta collocazione di questo nuovo materiale nel settore dell'edilizia.

- **Isolamento termico ed inerzia termica:**

Ricordando che più il valore di trasmittanza (U) è elevato più è scarsa la performance dell'edificio, i risultati del test condotto da BRE (2002) ad Haverhill su questo parametro nell'edificio costruito con il biocomposito era più alto di quello misurato in un edificio standard. Nonostante ciò, la temperatura media interna nella struttura a canapa e calce è rimasta di 2°C più alta rispetto a quella riscontrata nell'edificio standard, pur avendo lo stesso consumo di combustibile durante il periodo. E' stato quindi concluso che il valore di U non è il metodo più appropriato per valutare la performance termico del cemento di calce e canapa. In base ai livelli misurati, i valori di U del biocomposito sono inferiori alla soglia attuale prevista dai regolamenti Britannici e Francesi. Con un muro spesso 300mm, il valore di trasmittanza misurato è di $0,3\text{ W/m}^2\text{ K}$, di $0,22\text{ W/m}^2\text{ K}$ per 400 mm e di $0,18\text{ W/m}^2\text{ K}$ per 500 mm (Lime Technology, 2006). Inoltre in un secondo rapporto redatto da BRE (2003) consistente in una ispezione termografica risulta che è stata rilevata una temperatura esterna

dell'edificio di canapa e calce di circa 5°C inferiore a quella dell'edificio standard. Il biocomposito elimina perciò ogni forma di ponte termico isolando completamente la struttura portante in legno. Inoltre la costruzione si è dimostrata essere a tenuta d'aria, evitando così ogni perdita di calore dall'interno. L'inerzia termica è la capacità di un materiale di conservare energia calorifica e di rilasciarla su un periodo più lungo di tempo. Périer (2001) riconosce in questa proprietà la capacità del cemento biocomposito di controllare le differenze di temperatura e quindi di aiutare a rendere l'edificio più confortevole. In poche parole quando il cemento in calce e canapa viene esposto al sole si scalda in modo limitato e quando la temperatura esterna scende è in grado di rilasciare il calore bilanciando la differenza di temperatura tra ambiente esterno ed interno, questa proprietà è confermata dal test di BRE ad Haverhill (2001) (Ronchetti P., 2007).

- **Salubrità degli ambienti:**

Il biocomposito combina la permeabilità al vapore della calce all'igroscopicità della canapa, vale a dire la capacità del canapulo di assorbire elevate quantità di vapore acqueo. I muri ed i pavimenti di un edificio a canapa e calce possono “respirare” assorbendo l'umidità e successivamente rilasciandola attraverso l'evaporazione. Questa caratteristica evita lo sviluppo di umidità ed il relativo deterioramento all'interno del materiale favorendo la riduzione la quotidiana dell'umidità relativa. L'effetto complessivo è un ambiente più salubre e naturale che necessita di un minore condizionamento dell'aria.

- **Sequestro di carbonio:**

La pianta di canapa assorbe diossido di carbonio durante la sua crescita. Secondo Pervais (2003) 325 kg di CO₂ vengono catturati in una tonnellata di canapa secca. La costruzione a base di calce e canapa è quindi una modalità efficace per contrastare il riscaldamento globale. Lime Technology (2006) afferma che vengono sequestrati 110 kg di CO₂ /m³ nell'edificio quando il biocomposito viene spruzzato, che diventano 165 kg di CO₂ /m³ quando viene gettato e pressato all'interno dei pannelli temporanei di contenimento. Le stime citate tengono conto delle emissioni di biossido di carbonio per la produzione della calce. Per questo motivo si può affermare che la costruzione a base di calce e canapa è potenzialmente ad emissioni negative. Inoltre ulteriori risparmi di emissioni di CO₂ sono una conseguenza diretta della performance termica della costruzione a canapa e calce che riduce il fabbisogno per il riscaldamento dell'edificio. Ulteriori approfondimenti, riguardo il valore di emissioni di CO₂ ed impatti ambientali del cemento di calce e canapa verranno discussi nel prossimo capitolo.

- **Isolamento acustico:**

Sempre secondo il rapporto della BRE, i test acustici hanno avuto una performance inferiore rispetto a quelli costruiti con metodi tradizionale, ma nonostante ciò hanno soddisfatto i requisiti di resistenza acustica.

- **Resistenza antincendio:**

Il biocomposito in calce e canapa è ignifugo senza l'aggiunta di ulteriori sostanze tossiche ritardanti di fiamma. Périer (2001) afferma che secondo i test condotti dal "Centre Scientifique et Technique du Batiment" il biocomposito è stato classificato come "resistente alla fiamma" senza rilascio di fumi tossici o infiammabili, nella categoria francese M1. Viene inoltre affermato che la miscela abbia resistito un test di quattro ore a temperatura superiore a 1800°C.

- **Protezione dalle infestazioni:**

La canapa non è appetibile a topi e ratti, i quali non sono nemmeno attratti dalla calce che è stata utilizzata in passato per mantenere i livelli di igiene.

Per quel che riguarda le fibre tessili ad oggi ci sono ancora grandi difficoltà, per stigliare, pettinare e filare la fibra di canapa vengono ancora utilizzati i macchinari costruiti per il lino, opportunamente adattati, che trattano steli e fibra della lunghezza di circa 1 metro, questo metodo è stato sperimentato in anni passati nella zona di Comacchio ma non ha dato i risultati sperati. Per la prima trasformazione degli steli di confezionati in rotoballe o balle quadrate, esistono oggi in Italia soltanto due impianti, uno ad Alife (Caserta) e uno a Carmagnola (Torino). L'Assocanapa insieme al CNR IMAMOTER ha brevettato nel maggio 2010 un prototipo di macchinario per la prima trasformazione delle paglie di canapa costruito ex novo per la canapa, più compatto. Il prototipo, alla cui realizzazione ha contribuito l'Assessorato all'Agricoltura della Regione Piemonte, ha cominciato a lavorare e i risultati sono soddisfacenti. Se questo prototipo dovesse funzionare, contribuirà a favorire la diffusione della coltivazione in diverse zone d'Italia, per il consumo sul posto perlomeno del "canapulo".

1.3 Presentazione di realtà Made in Italy: "Equilibrium"

Durante l'elaborazione della tesi, al fine di approfondire la tecnologia con calce & canapa mi sono avvalso della consulenza dell'azienda "Equilibrium" e di seguito fornirò una breve presentazione di questa azienda italiana, leader nel settore della bioedilizia ed in particolare nell'uso del biocomposto calce-canapa, che mi ha affiancato in questo lavoro: "Equilibrium".

Equilibrium è un'impresa olistica che opera nel settore dei materiali da costruzione naturali e delle tecnologie per l'efficienza energetica; consapevole che il risparmio energetico e la salubrità degli ambienti sono diventati fattori chiave per la qualità del vivere, punta alla riduzione dei consumi energetici di edifici nuovi ed esistenti e al miglioramento del comfort abitativo degli occupanti, mediante l'applicazione di sistemi di costruzione e di isolamento naturale con composti a base di calce e canapa.

L'azienda si fonda su tre pilastri portanti:

- Il rispetto per l'ambiente e l'impegno a rigenerarlo;
- Il rispetto e la valorizzazione del capitale umano che le dà vita e dei rapporti con le persone con cui interagisce;
- L'attenzione al ritorno economico necessario per operare e investire in innovazione, ricerca e sviluppo.

Equilibrium distribuisce prodotti e soluzioni studiati e realizzati per soddisfare le crescenti esigenze del mercato edile e per risolvere tutte le criticità legate alla cattiva gestione del vapore acqueo e dell'umidità tipica dei materiali convenzionali di origine minerale e sintetica applicando quindi un elevato comfort abitativo, un risparmio energetico tangibile e costi allineati all'edilizia tradizionale.

Le soluzioni costruttive di questa azienda consentono di raggiungere un elevato risparmio energetico in due modi: utilizzo di materiali naturali con un basso livello di energia grigia (la quantità di energia necessaria per l'estrazione, la trasformazione, l'impiego e lo smaltimento) e riduzione al minimo del fabbisogno energetico per riscaldare/raffrescare l'edificio, ottimizzandone le prestazioni igro-termiche. In ambito civile Equilibrium propone sia la realizzazione e la progettazione di ville, villette e palazzine 'Passive' o in 'Classe A', completamente naturali, salubri ed eco-compatibili, sia la ristrutturazione di abitazioni ed edifici moderni con l'obiettivo di aumentarne il valore, migliorarne la classe energetica, accrescere il comfort abitativo e risolvere qualsiasi problema di umidità (<http://www.equilibrium-bioedilizia.com/>).

CAPITOLO 2

EDILIZIA AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA

2.1 L'importanza dell'edilizia dal punto di vista ambientale ed energetico

Nel panorama complessivo, il settore civile (residenziale più terziario) è fortemente coinvolto nel consumo energetico, con un contributo medio relativo alle fonti energetiche tradizionali che si attesta, mediamente in Europa, intorno al 40%. Gli Stati Uniti, l'Europa e la Russia consumano la maggior parte della loro energia nel settore dell'edilizia (circa 40%) (Figura 2.1) (IEA, 2008), inoltre nell'edilizia è presente oltre il 50% del risparmio potenziale di energia e pertanto esso è considerato come un settore che potrebbe essere in grado di far fronte alle sfide globali per il consumo dell'energia e per quello che riguarda i cambiamenti del clima. A causa di un alto consumo energetico nella produzione industriale in Cina, il settore edile, in questo paese, rappresenta solo il 19% della domanda energetica, ma la quota in Cina crescerà rapidamente con il suo sviluppo economico e con l'urbanizzazione. Il settore delle costruzioni, dunque, è un driver importante dell'economia mondiale. Ad esempio, ha un contributo del 9% del PIL nella Cina e nell'UE. Secondo un rapporto da McGraw Hill Construction, nel mercato delle costruzioni “verdi”, sia nel settore residenziale sia in quello non residenziale, è stato previsto un aumento in un range che va da 96 a 140 miliardi di dollari dal 2013. Vi è dunque una significativa opportunità per coloro che entrano in questo mercato (McGraw-Hill Costruzione, 2008).

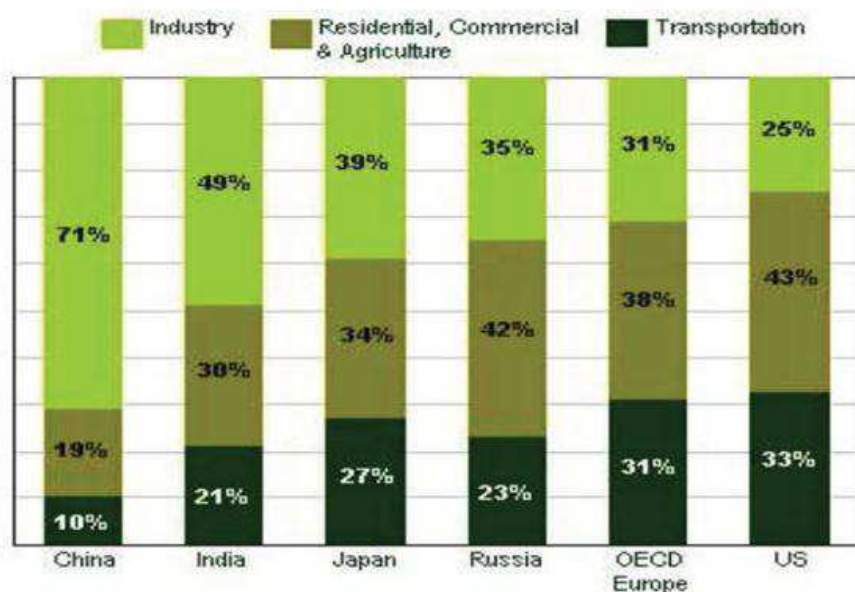
Il settore civile è, quindi, il primo settore per quanto riguarda i consumi energetici e risulta avere un peso maggiore rispetto ai consumi generati dal settore industriale e da quello dei trasporti. I 193 milioni di edifici dell'UE-25 causano, a livello globale, il 50% circa delle emissioni di SO₂, il 22% di NO_x, circa il 10% di emissioni di particolato, e, più in generale, un terzo delle emissioni totali di gas serra (GHG). Di queste, due terzi sono causate da edifici di tipo residenziale, mentre la restante parte da quelli di tipo commerciale (Balaras et al., 2005). Queste emissioni sono principalmente collegate alla fase di utilizzo degli edifici, mentre le emissioni relative alle fasi di produzione dei materiali da costruzione sono attribuite al settore industriale e in Europa Occidentale, ad esempio, risultano pari all'8-12%, a cui poi possono essere aggiunti i contributi relativi ai trasporti e ad altre attività legate alla costruzione (Nässén et al., 2007; Althaus et al., 2005). Tra il 1990 e il 2000 la costruzione di nuovi edifici ha conosciuto un aumento annuo dello 0,89% nei Paesi della UE-25, mentre la

crescita della richiesta di energia è stata limitata allo 0,4%; questo è stato reso possibile dalle tecnologie e dai materiali via via più efficienti che vengono introdotti nel mercato edilizio e dal fatto che non tutti i nuovi edifici sono occupati permanentemente.

Nel periodo 2000-2030 ci si aspetta un incremento annuo dei consumi dello 0,6%, principalmente dovuto all'incremento delle abitazioni e degli interventi di ammodernamento delle stesse, piuttosto che ad un effettivo aumento demografico. L'aumento dei consumi seguirà un andamento più rapido nei Paesi ad economia e tecnologie sviluppate piuttosto che in quelli a medio e basso sviluppo.

Nonostante negli ultimi anni l'innovazione tecnologica stia migliorando, le prestazioni energetiche di molti strumenti, dispositivi elettronici, etc., e l'estendersi ad una maggiore fascia della popolazione di molte tecnologie che fino a poco tempo fa erano considerate "di lusso", fa sì che tuttora non si possa godere dei benefici delle riduzioni di consumo assunte in precedenza (Balaras et al., 2005). In Italia, ad esempio, si è osservato che, negli ultimi anni, il consumo elettrico estivo degli edifici italiani ha iniziato a superare quello invernale. Ciò avviene per il combinato effetto del più alto livello di confort richiesto dagli utenti e delle più frequenti oscillazioni stagionali delle temperature dovute al cambiamento climatico (Aste et al., 2010).

Uno dei punti cardine della strategia dello sviluppo sostenibile è la minimizzazione del consumo energetico durante la produzione dei materiali edilizi, la costruzione degli edifici e il loro ciclo di vita. In base all'analisi dei fattori nocivi per l'ambiente, risulta che la maggior parte di essi (effetto serra, acidificazione, tossicità, etc.) deriva dalla combustione dei combustibili fossili. L'effetto serra prevale durante la fase d'uso dell'edificio, mentre gli altri (in particolare la tossicità) durante la fase di produzione (Sobotka & Rolak, 2009).



Inoltre è da notare che il riscaldamento degli edifici e il raffreddamento sono le maggiori attività che hanno un elevato utilizzo di energia, seguiti dal consumo di energia elettrica per l'illuminazione e dall'uso degli elettrodomestici (F.Zhang & P.Cooke, 2010). In particolare, gli anni Novanta hanno visto impennare la domanda legata al condizionamento (aumento del 14,6%) come risultato di un diffondersi delle esigenze di comfort ad una sempre più vasta fascia di popolazione. Ricollegandoci a quanto detto in precedenza, poiché il settore civile risulta essere il primo settore per quanto riguarda i consumi energetici rispetto agli altri, le emissioni di gas serra dovute all'uso di energia per gli edifici sono significativamente superiori a quelli dovuti al settore dei trasporti. La crescente domanda di spazi per l'edilizia residenziale e commerciale nei paesi in via di sviluppo spinge ulteriormente questo consumo. È stato predetto da International Panel on Climate Change (IPCC) che le emissioni di CO₂ degli edifici (anche attraverso l'uso di energia elettrica) potrebbe aumentare da 8,6 miliardi di tonnellate nel 2004 a 15,6 tonnellate di CO₂ nel 2030 in uno scenario di forte crescita (Figura 2.2) (Levine et al., 2007). I paesi in via di sviluppo inoltre contribuiranno con sostanziali aumenti di CO₂ nel settore edilizio. Ma un tale boom edilizio offre anche l'opportunità di commercializzare efficienti tecnologie per ridurre le emissioni di CO₂.

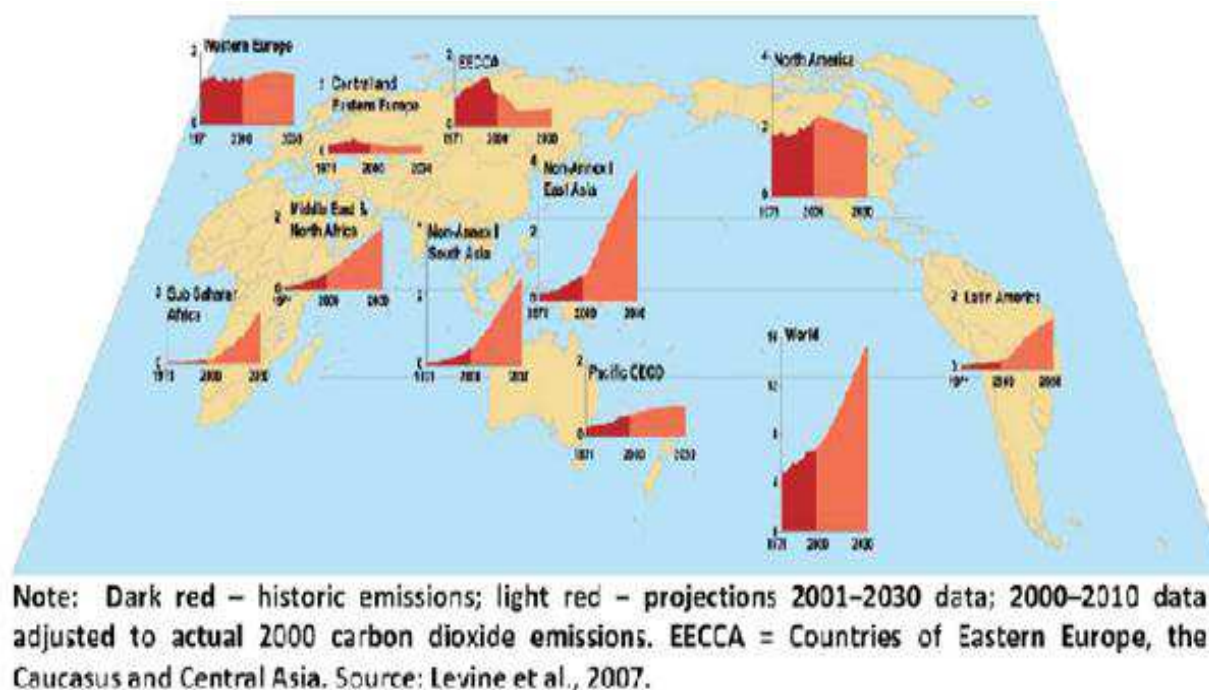


Fig. 2.1 CO₂ Emissions from BUILDING SECTOR UNDER HIGH GROWTH SCENARIO
(Including the use of electricity) (Source: Levine et Al., 2007)

Recentemente un notevole sforzo applicativo è stato fatto per i materiali rinnovabili e le risorse energetiche rinnovabili utilizzati nell'edilizia al fine di utilizzare l'energia in modo efficiente e riducendo così l'impronta di carbonio. Per esempio l'energia utilizzata per il riscaldamento e il raffreddamento può essere ridotta attraverso la ventilazione, i dissipatori di calore, l'uso del pannello solare e un buon sistema di isolamento. L'elettricità può essere ridotta attraverso una migliore illuminazione a LED o incremento dell'uso dell'illuminazione naturale e con l'utilizzo di elettrodomestici ad alta efficienza energetica. E' stato calcolato che rispettando queste applicazioni per quanto riguarda la bioedilizia gli edifici possono ridurre le emissioni di gas serra fino al 70-80% (WBCSD, 2009).

2.2 Edifici a energia “quasi zero”

Nel seguente paragrafo verrà illustrato il concetto di edificio ad energia quasi zero, le disposizioni normative europee, nazionali e regionali ed infine il significato di sistemi attivi e passivi.

Il concetto di edifici ad energia quasi zero è stato introdotto dalla direttiva europea 2010/31/UE in vigore dal 1 gennaio 2012 in tutti gli stati membri. La nuova direttiva sulle prestazioni energetiche degli edifici, che aggiorna e sostituisce la precedente 2002/91/CE, prevede che dal 2020 tutte le nuove costruzioni siano “edifici ad energia quasi zero”, ovvero edifici con un fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo che dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia proveniente da fonti rinnovabili. La direttiva sottolinea come il settore dell'edilizia costituisca un comparto chiave per raggiungere quegli obiettivi di risparmio energetico, riduzione delle emissioni di gas serra e indipendenza energetica che la Comunità Europea si è imposta di raggiungere entro il 2020.

Il 40 % del consumo globale di energia nell'Unione Europea si registra infatti nel settore edilizio: diventa perciò indispensabile intervenire con misure efficaci di contenimento dei consumi, che si concretizzano nell'incremento dell'efficienza energetica delle strutture edilizie e delle tecnologie impiantistiche.

*(Quaderni per l'energia vol.3, “CasaClima FVG, edifici ad energia quasi zero”.
Vademecum di edilportale, “Edifici ad energia quasi zero”)*

2.3 La direttiva 2010/31/UE

Il settore dell'edilizia rappresenta il 40% del consumo totale di energia nell'Unione Europea (UE). La riduzione del consumo di energia in questo settore è quindi una priorità nell'ambito degli obiettivi «20-20-20» in materia di efficienza energetica. La presente direttiva rientra in

questa volontà proponendo degli orientamenti per gli Stati membri relativi alla prestazione energetica degli edifici.

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia.

La presente direttiva è volta a promuovere la prestazione energetica degli edifici, delle loro parti e delle unità immobiliari.

Metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici

Gli Stati membri adottano, a livello nazionale o regionale, una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici che tiene conto di determinati aspetti, tra cui:

- le caratteristiche termiche dell'edificio (capacità termica, isolamento, ecc.);
- l'impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda;
- gli impianti di condizionamento d'aria;
- l'impianto di illuminazione incorporato;
- le condizioni climatiche interne.

Va anche tenuto conto di altri vantaggi come le condizioni locali di esposizione al sole, l'illuminazione naturale, i sistemi di cogenerazione dell'elettricità e gli impianti di teleriscaldamento o telerinfrescamento urbano o collettivo.

Fissazione di requisiti minimi

Gli Stati membri dovranno fissare, in conformità alla citata metodologia di calcolo, i requisiti minimi di prestazione energetica in modo da conseguire livelli ottimali in funzione dei costi. I requisiti minimi di prestazione energetica sono riveduti ogni 5 anni.

Nel fissare i requisiti minimi, gli Stati membri possono distinguere tra gli edifici già esistenti e quelli di nuova costruzione, nonché tra diverse tipologie edilizie.

Gli edifici nuovi dovranno rispettare i requisiti e, prima dell'inizio dei lavori di costruzione, essere sottoposti ad una valutazione sulla fattibilità relativa all'installazione di sistemi di fornitura di energia da fonti rinnovabili, pompe di calore, sistemi di teleriscaldamento o telerinfrescamento urbano o collettivo e sistemi di cogenerazione.

Gli edifici esistenti, destinati a subire ristrutturazioni importanti, dovranno beneficiare di un miglioramento della loro prestazione energetica in modo da poter soddisfare i requisiti minimi.

Possono essere esclusi dall'applicazione dei requisiti minimi:

- gli edifici ufficialmente protetti (ad esempio gli edifici storici);
- gli edifici adibiti a luoghi di culto;
- i fabbricati temporanei;

- gli edifici residenziali destinati ad essere utilizzati per un periodo limitato dell'anno;
- i fabbricati indipendenti con una metratura utile totale inferiore a 50 m².

In caso di nuova installazione, sostituzione o miglioramento, i sistemi tecnici per l'edilizia, quali gli impianti di riscaldamento, gli impianti di produzione di acqua calda, gli impianti di condizionamento d'aria e i grandi impianti di ventilazione, devono anch'essi rispettare i requisiti in materia di prestazione energetica.

Gli elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio (gli infissi, ad esempio) devono anch'essi rispettare i requisiti minimi in materia di prestazione energetica quando sono rinnovati o sostituiti, in modo da raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi.

In caso di costruzione o rinnovamento di un edificio, la presente direttiva incoraggia fortemente l'introduzione di sistemi intelligenti per la misurazione del consumo energetico, conformemente alla direttiva relativa alle norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica.

Obiettivo: edifici a energia quasi zero

Entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero. Gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi dovranno rispettare gli stessi criteri a partire dal 31 dicembre 2018.

La Commissione promuove l'incremento degli edifici di questo tipo tramite l'attuazione di piani nazionali, che comprendono:

- l'indicazione del modo in cui lo Stato membro applica la definizione di edifici a energia quasi zero;
- gli obiettivi intermedi di miglioramento della prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione entro il 2015;
- informazioni sulle politiche e sulle misure finanziarie o di altro tipo adottate per promuovere il miglioramento della prestazione energetica degli edifici.

Incentivi finanziari e barriere di mercato

Gli Stati membri redigono un elenco degli strumenti esistenti ed eventualmente proposti che promuovono il miglioramento della prestazione energetica degli edifici. Tale elenco è aggiornato ogni tre anni.

Attestati di prestazione energetica

Gli Stati membri adottano un sistema di certificazione energetica degli edifici. L'attestato può comprendere informazioni sul consumo energetico degli edifici, nonché delle raccomandazioni per il miglioramento in funzione dei costi.

In caso di vendita o locazione di un edificio o di un'unità immobiliare, l'indicatore di prestazione energetica che figura nell'attestato di prestazione energetica va riportato in tutti gli annunci dei mezzi di comunicazione commerciali.

In caso di costruzione, vendita o locazione di un edificio o di un'unità immobiliare, l'attestato va mostrato al potenziale acquirente o nuovo locatario e consegnato all'acquirente o al nuovo locatario.

Per gli edifici in cui una metratura utile totale di oltre 500 m² è occupata da enti pubblici e per gli edifici con una superficie totale di oltre 500 m² abitualmente frequentati dal pubblico, l'attestato di prestazione energetica va affisso in un luogo chiaramente visibile per il pubblico (il 9 luglio 2015 la soglia sarà abbassata a 250 m²).

Gli Stati membri adottano le misure necessarie per prescrivere ispezioni periodiche degli impianti di riscaldamento e climatizzazione degli edifici.

La presente direttiva abroga la direttiva 2002/91/CE.

(http://europa.eu/legislation_summaries.htm)

Direttiva Europea 19/05/2010 n. 2010/31/UE “*Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia*”.

2.4 La normativa Nazionale

La situazione normativa italiana è caratterizzata da un quadro legislativo ancora incompleto, in cui si affiancano regioni contraddistinte da leggi ed esperienze molto avanzate ed altre ancora poco sensibili al tema dell'edilizia sostenibile.

In Italia le prime disposizioni in materia di certificazione energetica degli edifici sono state emanate con la legge 9 gennaio 1991, n.10, volta a favorire l'uso razionale dell'energia, lo sviluppo delle fonti rinnovabili e la riduzione dei consumi di energia nei processi produttivi.

Nel 2005 è stato avviato il recepimento della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, che ha introdotto nell'Unione Europea la certificazione energetica degli edifici, quale strumento per sensibilizzare i cittadini sugli aspetti energetici degli immobili in fase di compravendita.

Il primo provvedimento di recepimento della Direttiva 2002/91/CE è stato il Dlgs 18 agosto 2005, n.192, che ha fissato le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici e ha stabilito i criteri generali per la certificazione energetica, prevedendo l'obbligo per gli edifici di nuova costruzione di dotarsi di un attestato di certificazione energetica. L'attestato che ha una validità massima di 10 anni dal rilascio, deve essere aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione che modifichi le prestazioni

energetiche dell'edificio e deve riportare i dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio e suggerimenti per il miglioramento della prestazione energetica.

Il Dlgs 192/2005 è stato successivamente modificato e integrato con il Dlgs 29 dicembre 2006, n.311 che ha anche esteso gradualmente l'obbligo della certificazione energetica a tutti gli edifici preesistenti all'entrata in vigore del Dlgs 192/2005 (8 ottobre 2005), qualora immessi sul mercato in vendita o locazione.

Dal primo gennaio 2001, l'attestato di certificazione energetica è diventato necessario per fruire di incentivi e agevolazioni fiscali destinati al miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici.

I decreti legislativi 192/2005 e 311/2006 prevedono l'emanazione di tre decreti attuativi:

- un Regolamento con le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici, in attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del Dlgs 192/2005. Tale Regolamento è stato emanato con il Dpr 2 aprile 2009, n.59.
- le Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, in attuazione dell'articolo 6, comma 9 e dell'articolo 5, comma 1 del Dlgs 192/2005. Le Linee guida sono state emanate con il DM del 26 giugno 2009.
- un Regolamento che fissi i criteri di accreditamento degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici e le ispezioni degli impianti di climatizzazione, in attuazione della lettera c) dell'articolo 4 comma 1, del Dlgs 192/2005. Tale Regolamento non è ancora stato emanato e fino alla sua emanazione si applicano le disposizioni contenute nell'Allegato III al Dlgs 30 maggio 2008, n. 115 (Attuazione della Direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia) che definisce i soggetti abilitati alla certificazione energetica degli edifici.

Il Decreto legge 25 giugno 2008, n. 112 ha abolito l'obbligo di allegare l'attestato di certificazione energetica agli atti di compravendita e locazione di immobili. E' però rimasto valido l'obbligo di redigerlo. Su questa disposizione la Commissione europea ha avviato una procedura d'infrazione nei confronti dell'Italia per il mancato rispetto della Direttiva 2002/91/CE.

Con il Dlgs 3 marzo 2011, n.28, che recepisce la Direttiva 2009/28/CE sulla promozione delle energie rinnovabili, è stato introdotto l'obbligo di inserire nei contratti di compravendita o di locazione una clausola con la quale l'acquirente o il conduttore dichiarano di aver

ricevuto le informazioni relative alla certificazione energetica. Lo stesso Dlgs 28/2011 prevede che, dal primo gennaio 2012, gli annunci commerciali di vendita di edifici o di 10 singole unità immobiliari riportino l'indice di prestazione energetica contenuto nell'attestato di certificazione energetica.

2.5 La Normativa Regionale

La legge regionale sulla certificazione energetica in Puglia

Con il Regolamento regionale 10 febbraio 2010, n. 10 la Regione Puglia ha adottato le norme per la certificazione energetica degli edifici definendo i criteri e le modalità per il rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica.

L'obbligo della certificazione

L'obbligo della certificazione è prevista in caso di:

- **nuova costruzione:**

gli edifici di nuova costruzione devono essere dotati di Attestato di Certificazione Energetica a cura del costruttore.

- **ristrutturazione:**

devono essere dotati di Attestato di Certificazione Energetica a cura del proprietario o del detentore dell'immobile:

- gli edifici oggetto di ristrutturazione;
- gli edifici oggetto di ampliamenti volumetrici;
- gli edifici i cui sottotetti sono oggetto di recupero a fini abitativi;
- gli edifici in cui vengono installati nuovi impianti termici.

- **edilizia pubblica:**

negli edifici di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico, la certificazione energetica si applica anche in caso di stipula o rinnovo di tutti i contratti relativi alla gestione degli edifici e degli impianti termici.

L'Attestato di Certificazione Energetica deve essere affisso nell'edificio in un luogo facilmente visibile al pubblico.

- **compravendita e locazione (anche singole unità immobiliari):**

Il Regolamento 10/2010 non prevede alcun obbligo di produrre l'ACE in caso di compravendita o locazione, come previsto dall'articolo 6 del Dlgs 192/2005 (comma 3, articolo 6 e comma 8, articolo 15).

Tuttavia, la norma nazionale ha proseguito il suo iter e sono entrati in vigore obblighi e precisazioni aggiuntivi a quelli recepiti dalla Puglia nel 2010. Particolare è il caso dell'obbligo di produrre l'ACE in caso di compravendita: nel corso di questi ultimi anni si sono susseguite diverse modifiche ai commi del Dlgs 192/2005 che legiferano in materia. L'ultima è quella prevista dal Dlgs 28/2001.

Per riassumere, la norma nazionale stabilisce che:

- a partire dal 1° luglio 2009, gli edifici devono essere dotati di certificazione in caso di trasferimento a titolo oneroso;
- a partire dal 29 marzo 2011 nel contratto di locazione di edifici o di singole unità immobiliari, deve essere inserita una clausola con la quale l'acquirente o il locatario danno atto di aver ricevuto le informazioni e la documentazione relativa alla certificazione energetica dell'edificio;
- a partire dal 1° gennaio 2012 gli annunci immobiliari che hanno per oggetto la vendita di edifici, devono riportare l'indice di prestazione energetica dell'edificio.

Siccome il recepimento della norma nazionale è ferma al 2010, nei casi appena specificati è proprio la norma nazionale che va applicata. Per maggiori informazioni vedi menu di destra. Sono esclusi dall'obbligo di certificazione:

- i box;
- le cantine;
- le autorimesse;
- i depositi;
- le strutture stagionali a protezione degli impianti sportivi;
- i fabbricati isolati con una superficie utile totale inferiore a 50 metri quadrati;
- gli immobili tutelati dal codice dei beni culturali e del paesaggio;
- gli edifici di pregio storico-culturale e testimoniale individuati dalla pianificazione urbanistica, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici;

- i fabbricati industriali, artigianali e agricoli non residenziali quando gli ambienti sono riscaldati per esigenze del processo produttivo o utilizzando reflui energetici del processo produttivo non altrimenti utilizzabili;
- gli impianti installati ai fini del processo produttivo realizzato nell'edificio, anche se utilizzati, in parte non preponderante, per usi energetici tipici del settore civile, fermo restando l'osservanza delle norme urbanistiche ed edilizie.

Validità

Una volta emesso, l'Attestato di Certificazione Energetica ha una validità massima di **10 anni** e deve essere aggiornato:

- ad ogni intervento migliorativo della prestazione energetica a seguito di interventi di riqualificazione che riguardino almeno il 25% della superficie esterna dell'immobile;
- ad ogni intervento migliorativo della prestazione energetica a seguito di interventi di riqualificazione degli impianti di climatizzazione e di produzione di acqua calda sanitaria che prevedono l'installazione di sistemi di produzione con rendimenti più alti di almeno 5 punti percentuali rispetto ai sistemi preesistenti;
- ad ogni intervento di ristrutturazione impiantistica o di sostituzione di componenti o apparecchi che, fermo restando il rispetto delle norme vigenti, possa ridurre la prestazione energetica dell'edificio.

Attenzione: l'ACE rimane valido nel corso dei dieci anni solo se sono rispettate le prescrizioni connesse agli esiti delle operazioni di controllo di efficienza energetica degli impianti di climatizzazione. Se non vengono rispettate, l'attestato decade il 31 dicembre dell'anno successivo a quello di scadenza non rispettata delle prescrizioni. A tal fine, i libretti di impianto o di centrale devono essere allegati all'ACE.

Controlli e sanzioni

La Regione può effettuare delle verifiche per controllare la correttezza e competenza degli attestati di certificazione energetica. A tale scopo, la Regione richiede al Comune competente i documenti progettuali ritenuti necessari ed eventuale supporto tecnico. I controlli possono essere effettuati anche su richiesta del Comune, del proprietario, dell'acquirente o del conduttore dell'immobile; in tal caso, il costo degli accertamenti è a carico dei richiedenti.

Le **sanzioni** per la mancata applicazione degli obblighi sono quelle previste dall'articolo 15 del Dlgs 192/2005, e cioè:

- il professionista qualificato un attestato di certificazione energetica senza il rispetto dei criteri e delle metodologie previste dalla normativa in vigore è punito con la sanzione amministrativa pari al 30 per cento della parcella calcolata secondo la vigente tariffa professionale;
- il progettista professionista qualificato che rilascia un attestato di certificazione energetica non veritieri, è punito con la sanzione amministrativa pari al 70 per cento della parcella calcolata secondo la vigente tariffa professionale; in questo caso l'autorità che applica la sanzione deve darne comunicazione all'ordine o al collegio professionale competente per i provvedimenti disciplinari conseguenti. Attenzione: il fatto costituisce reato;
- il costruttore che non consegna al proprietario, contestualmente all'immobile, l'originale della certificazione energetica è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a 5000 euro e non superiore a 30000 euro.

Catasto regionale

Gli attestati di certificazione energetica degli edifici saranno registrati nel Catasto regionale per le certificazioni energetiche, tenuto presso la Regione Puglia, Area politiche per lo sviluppo, il lavoro e l'innovazione, Servizio energia, reti e infrastrutture materiali per lo sviluppo. Il Catasto al momento (febbraio 2010) non è ancora operativo. La Giunta regionale emanerà un'apposita norma che disciplinerà il suo funzionamento.

Modello ACE

Il modello dell'Attestato di Certificazione Energetica deve essere conforme al modello riportato negli allegati delle Linee guida nazionali emanate con il Dm Sviluppo economico 26 giugno 2009 (vedi menu di destra).

Dal Bollettino Ufficiale della Regione Puglia - n. 27 suppl. del 10-02-2010

http://www.regione.puglia.it/web/files/ediliziaresidenziale/regolamento_certificazione_energetica.pdf

Dgr 13 aprile 2010, n. 1009

Regolamento regionale 10 febbraio 2010, n. 10

La certificazione energetica negli edifici

Dlgs 192/2005

Dm Sviluppo economico 26 giugno 2009

Anno 149° - Numero 66 - Martedì, 18 marzo 2008 - pag. 13

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

DECRETO - 11 marzo 2008

Attuazione dell'articolo 1, comma 24, lettera a), della legge 24 dicembre 2007, n. 244, per la definizione dei valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo e di trasmittanza termica ai fini dell'applicazione dei commi 344 e 345 dell'articolo 1 della legge 27 dicembre 2006, n. 296.

(GU n. 66 del 18-3-2008)

Visto l'art. 1, della legge 24 dicembre 2007, n.244 (di seguito: legge finanziaria 2008), e in particolare:

- il comma 20, il quale dispone, tra l'altro, che le disposizioni di cui all'art. 1, commi da 344 a 347, della legge 27 dicembre 2006, n. 296 (di seguito: legge finanziaria 2007), si applicano, nella misura e alle condizioni ivi previste, anche alle spese sostenute entro il 31 dicembre 2010;

- il comma 24, lettera a), la quale prevede che, per l'attuazione di quanto disposto al comma 20 sopra citato, i valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo per la Climatizzazione invernale ai fini dell'applicazione del comma 344 dell'art. 1 della legge finanziaria 2007, e i valori di trasmittanza termica ai fini dell'applicazione del comma 345 del medesimo art. 1 sono definiti con decreto del Ministro dello sviluppo economico entro il 28 febbraio 2008; Visto il decreto del Ministro dell'economia e delle finanze di concerto con il Ministro dello sviluppo economico del 19 febbraio 2007, recante le modalità di attuazione delle disposizioni di cui ai commi 344, 345, 346 e 347 della legge finanziaria 2007, e successive modificazioni; Visto il decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia; Ritenuto che, per le finalità di cui al comma 20 dell'art. 1 della legge finanziaria 2008, i valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo

per la climatizzazione invernale e i valori di trasmittanza termica debbano essere definiti con riferimento ai valori minimi obbligatori delle medesime grandezze introdotti dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni; Ritenuto che gli incentivi di cui al comma 20 dell'art. 1 della legge finanziaria 2008 debbano essere riconosciuti per i soli interventi che conseguono valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo per la

climatizzazione invernale e i valori di trasmittanza termica adeguatamente piu' stringenti di quelli minimi obbligatori di cui al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192;

Decreta:

Art. 1.

Valori limite di fabbisogno di energia primaria annua per la climatizzazione invernale

1. Per le finalita' di cui all'art. 1, comma 20, della legge finanziaria 2008, i valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo per la climatizzazione invernale ai fini dell'applicazione del comma 344 dell'art. 1 della legge finanziaria 2007, sono riportati in allegato 1.2. Fermo restando quanto disposto al comma 1, qualora l'intervento realizzato ai fini dell'applicazione del comma 344 dell'art. 1 della legge finanziaria 2007, includa la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili, i medesimi generatori di calore alimentati da biomasse combustibili devono contestualmente rispettare le seguenti ulteriori condizioni:

a) avere un rendimento utile nominale minimo conforme alla classe 3 di cui alla norma Europea UNI-EN 303-5; b) rispettare i limiti di emissione di cui all'allegato IX alla parte quinta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modifiche e integrazioni, ovvero i piu' restrittivi limiti fissati da norme regionali, ove presenti; c) utilizzare biomasse combustibili ricadenti fra quelle ammissibili ai sensi dell'allegato X alla parte quinta del medesimo decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modifiche e integrazioni.

Art. 2.

Valori di trasmittanza termica

1. Per le finalita' di cui all'art. 1, comma 20, della legge finanziaria 2008, i valori di trasmittanza termica ai fini dell'applicazione del comma 345 dell'art. 1 della legge finanziaria 2007, sono riportati in allegato 2.

Art. 3.

Metodologie di calcolo

1. Ai fini del presente decreto, le metodologie per il calcolo del fabbisogno di energia primaria annuo per la climatizzazione invernale, delle trasmittanze degli elementi costituenti l'involucro edilizio e della trasmittanza media del medesimo involucro, sono conformi a quanto previsto all'allegato I del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e successive

modifiche ed integrazioni. 2. Ai fini della determinazione del contributo alla riduzione dell'indice di prestazione energetica conseguente all'installazione di stazioni di scambio termico da allacciare a reti di teleriscaldamento, si applica il fattore di conversione dell'energia termica utile in energia primaria, così come dichiarato dal gestore della rete di teleriscaldamento. 3. Ai soli fini dell'accesso alle detrazioni dell'imposta sul reddito di cui di cui all'art. 1, comma 344, della legge finanziaria 2007, per il calcolo dell'indice di prestazione energetica conseguente all'installazione di generatori di calore a biomasse che rispettano i valori minimi prestazionali di cui all'art. 1, comma 2, il potere calorifico della biomassa viene considerato pari a zero.

Roma, 11 marzo 2008

Il Ministro: Bersani

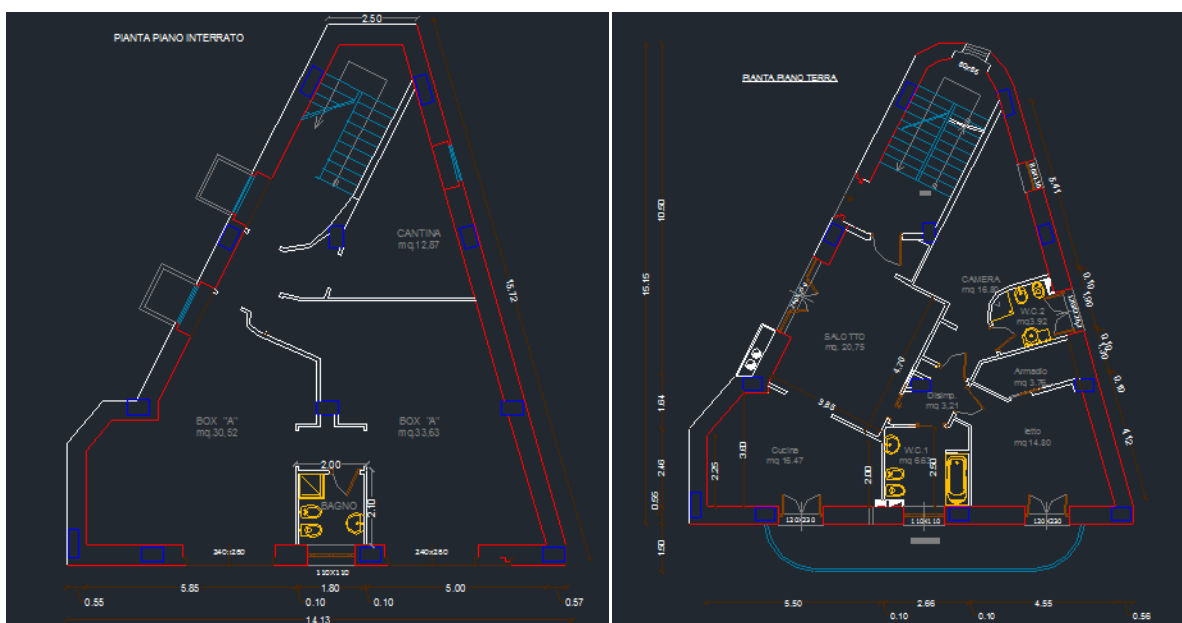
CAPITOLO 3

CASO STUDIO

3.1 Caso studio: generalità

Oggetto di questo lavoro di tesi è un caso studio teorico sulla valutazione energetica effettuata su un edificio, con struttura portante in cemento armato, già esistente e situato in Puglia nel comune di Bovino (FG) in Via A. Manuppelli n.1 zona climatica E. I calcoli per la certificazione energetica sono stati eseguiti mediante l'utilizzo del software "Namirial Termo" simulando quattro tipologie di costruzione differenti: due con muratura di tamponamento e solaio con materiali convenzionali e due con muratura di tamponamento e solaio con il biocomposito calce-canapa i cui risultati sono riportati di seguito in questo capitolo nel paragrafo successivo.

Di seguito sono riportate le piante dell'abitazione, la copertura e un prospetto come previste da progetto:



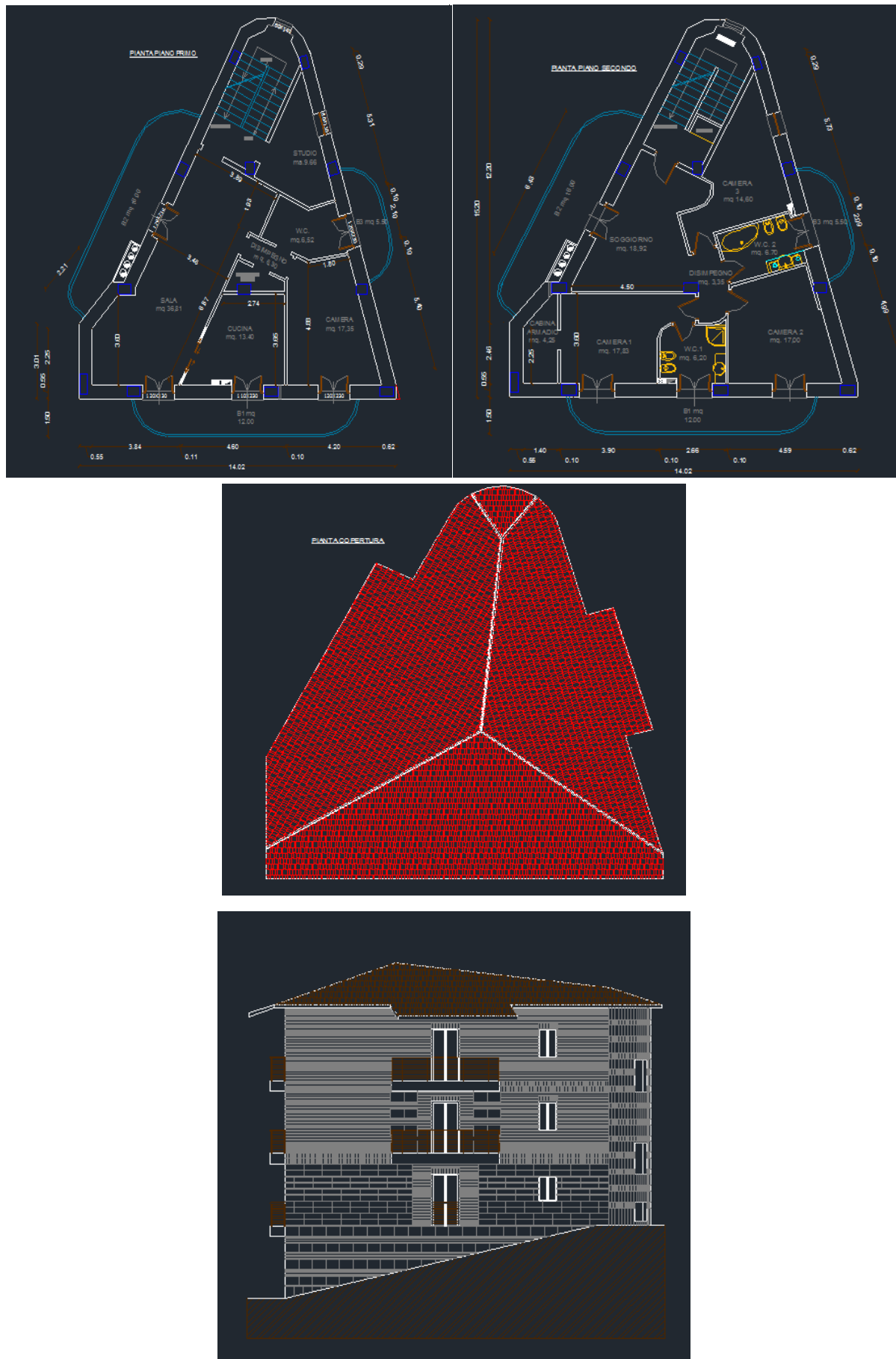


Fig 3.1 Piante edificio e prospetto laterale

3.2 Modello di calcolo: input ed output

Nella fase preliminare i dati da fornire al software al fine di un'elaborazione della valutazione energetica dell'intero edificio sono: il comune di ubicazione edificio, la dimensione lineare in piano, l'altezza netta dei locali, la stratigrafia delle chiusure opache verticali, la tipologia delle chiusure verticali trasparenti, le chiusure opache orizzontali, la tipologia di distribuzione e la tipologia di impianto. L'input dei dati può essere effettuato sia in modo tabellare sia mediante un intuitivo CAD interno che permette l'inserimento dei dati con l'ausilio di disegni in formato dxf / dwg / bitmap / jpeg.

Al fine della certificazione energetica (con i diversi scenari di murature di tamponamento e solai e mantenendo inalterati i valori delle chiusure verticali trasparenti e degli impianti) dopo aver elaborato l'input, il software fornisce come risultati: l'indice (EP) totale, l'indice energia primaria (EP_i) invernale, l'indice involucro in regime invernale ($EP_{i,inv}$), l'indice involucro in regime estivo ($EP_{e,inv}$). Molto importante è osservare i vari valori della trasmittanza per le diverse tipologie di murature e solai e confrontare anche l'analisi termoigrometrica.

Gli elementi che costituiscono l'involucro edilizio sono interessati da un flusso di calore che concorre a determinare le perdite per trasmissione del bilancio energetico invernale dell'edificio. Questa voce può assumere notevole influenza soprattutto nel caso di edifici con estese superfici disperdenti rapportate al volume lordo riscaldato. Il parametro principale per determinare le dispersioni termiche è la trasmittanza termica (indicata con U), che rappresenta il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari a 1°C . La norma di riferimento per il calcolo della trasmittanza termica è la UNI EN ISO 6946:2008.

La trasmissione del calore attraverso un corpo sottoposto ad una differenza di temperatura è un fenomeno assai complesso nella sua generalità. Esso si basa su tre meccanismi di scambio fondamentali: la conduzione, la convezione e l'irraggiamento. Se si ipotizza che il flusso di calore sia stazionario, che l'elemento abbia una forma geometrica semplice piana, che sia realizzata da una sequenza di strati omogenei ed isotropi e che le superfici esterne alla parete siano isoterme, la trasmittanza termica risulta essere un parametro di utilizzo comune.

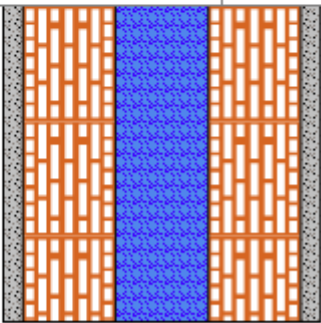
- Parte delle informazioni sono tratte dal sito www.manuali.cened.it

Nei paragrafi successivi, per i diversi scenari accennati precedentemente, a parità di spessori, riporterò i risultati ottenuti della trasmittanza U delle pareti e dei solai, somma delle trasmittanze dei singoli costituenti, al fine di raggiungere il valore minimo da rispettare in normativa: $U=0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le chiusure opache verticali e $U=0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ per gli elementi opachi orizzontali a flusso discendente e verso ambienti non riscaldati, mantenendo le misure uguali per tutti e quattro i pacchetti.

3.3 Scenari con materiali tradizionali

In questo paragrafo riporterò i risultati della trasmittanza U , sulle pareti:

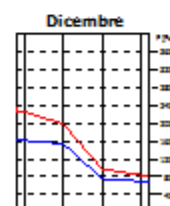
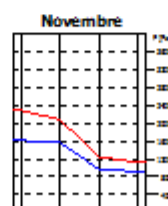
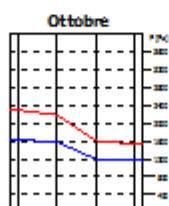
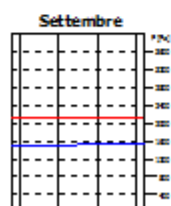
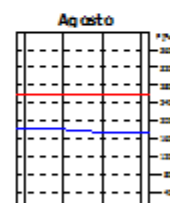
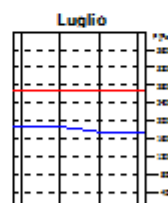
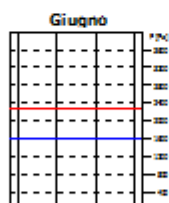
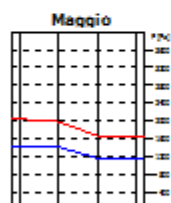
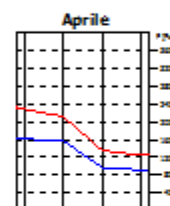
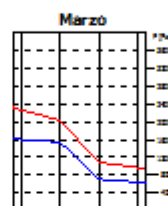
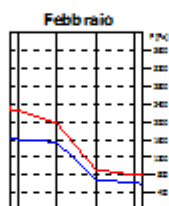
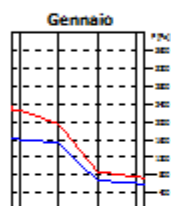
Il primo scenario prevede una tamponatura con muratura poroton multistrato (con rifoderata esterna) $U=0.214 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Tipologia	Parete esterna			
Descrizione	PARETE ESTERNA MULTISTRATO POROTON E STYRODUR			
Strati	Trasmittanza totale calcolata		0.214	$\text{W/m}^2\text{K}$
	Trasmittanza adottata		0.214	$\text{W/m}^2\text{K}$
	Massa superficiale		171.36	kg/m^2
	Trasmittanza periodica		0.039	$\text{W/m}^2\text{K}$
	Sfasamento		13.82	h
	Smorzamento		0.181	—
	Capacità termica interna		54.408	$\text{kJ/m}^2\text{K}$
	Materiale	Cond. $[\text{W/m}^2\text{K}]$	Res. $[\text{m}^2\text{K/W}]$	Spes. $[\text{cm}]$
	Resistenza superficiale interna	7.69	0.130	
	Malta di calce o di calce e cemento	36.000	0.028	2.5
	Poroton 12 cm (120*500*250) spessore 120	1.667	0.600	12.0
	Styrodur 2500 C 100 mm	0.308	3.247	12.0
	Poroton 12 cm (120*500*250) spessore 120	1.667	0.600	12.0
	Malta di calce o di calce e cemento	36.000	0.028	2.5
	Resistenza superficiale esterna	25.00	0.040	
	Totale:		4.673	41.0
Ponte termico	Tipologia di isolamento: Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti e ponti termici corretti Maggiorazione per ponte termico: 5.00%			

Verifica termoigrometrica



Mese	Ti[°C]	Pi[Pa]	Te[°C]	Pe[Pa]	Tsi[°C]	Tsi,min[°C]	fRsi,min	gc[kg/m²]	Ma[kg/m²]
Gennaio	20.0	1636	2.7	578	19.5	17.9	0.8763	0.00000	0.00000
Febbraio	20.0	1636	3.6	598	19.5	17.9	0.8696	0.00000	0.00000
Marzo	20.0	1636	6.3	613	19.6	17.9	0.8439	0.00000	0.00000
Aprile	20.0	1636	10.1	896	19.7	17.9	0.7839	0.00000	0.00000
Maggio	18.0	1444	14.2	1146	17.9	15.9	0.4458	0.00000	0.00000
Giugno	19.5	1586	19.5	1595	19.5	17.4	—	0.00000	0.00000
Luglio	22.3	1884	22.3	1747	22.3	20.1	—	0.00000	0.00000
Agosto	21.8	1827	21.8	1733	21.8	19.6	—	0.00000	0.00000
Settembre	18.4	1481	18.4	1559	18.4	16.3	—	0.00000	0.00000
Ottobre	20.0	1636	13.2	1157	19.8	17.9	0.6854	0.00000	0.00000
Novembre	20.0	1636	8.5	899	19.7	17.9	0.8140	0.00000	0.00000
Dicembre	20.0	1636	4.2	666	19.6	17.9	0.8646	0.00000	0.00000

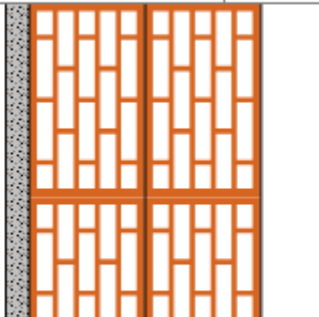


fRsi struttura: 0.9722

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

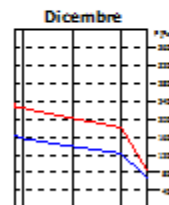
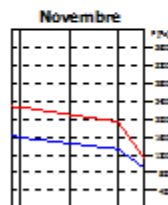
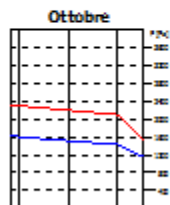
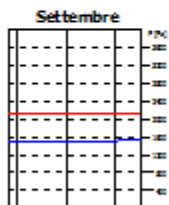
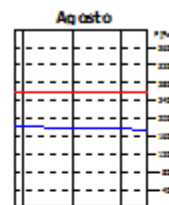
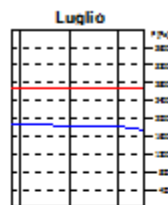
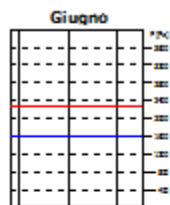
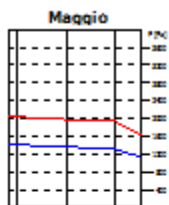
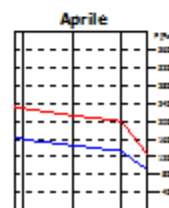
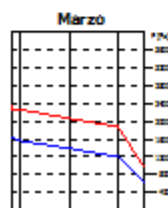
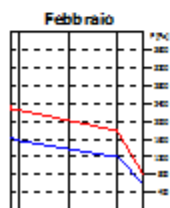
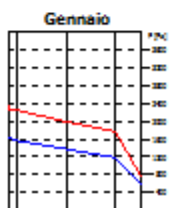
La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

Il secondo scenario prevede una tamponatura con muratura con cappotto esterno di calce
 $U=0.242 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Tipologia	Parete esterna				
Descrizione	PARETE ESTERNA A CAPPOTTO				
	Trasmittanza totale calcolata		0.242	W/m²K	
	Trasmittanza adottata		0.242	W/m²K	
	Massa superficiale		230.80	kg/m²	
	Trasmittanza periodica		0.024	W/m²K	
	Sfasamento		12.92	h	
	Smorzamento		0.101	—	
	Capacità termica interna		57.521	kJ/m²K	
	Strati	Materiale	Cond. [W/m²K]	Res. [m²K/W]	Spes. [cm]
		Resistenza superficiale interna	7.69	0.130	
Malta di calce o di calce e cemento		30.000	0.033	3.0	
Mattone forato di laterizio (250*150*250) spessore 150		2.222	0.450	15.0	
Mattone forato di laterizio (250*150*250) spessore 150		2.222	0.450	15.0	
Stiferite CLASS S - 80 mm		0.330	3.030	8.0	
Resistenza superficiale esterna		25.00	0.040		
Totale:		4.133	41.0		
					
Ponte termico		Tipologia di isolamento: Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti e ponti termici corretti Maggiorazione per ponte termico: 5.00%			

Verifica termoigrometrica

Mese	Ti[°C]	Pi[Pa]	Te[°C]	Pe[Pa]	Tsi[°C]	Tsi,min[°C]	fRsi,min	gc[kg/m²]	Ma[kg/m²]
Gennaio	20.0	1636	2.7	578	19.5	17.9	0.8763	0.00000	0.00000
Febbraio	20.0	1636	3.6	598	19.5	17.9	0.8696	0.00000	0.00000
Marzo	20.0	1636	6.3	613	19.6	17.9	0.8439	0.00000	0.00000
Aprile	20.0	1636	10.1	896	19.7	17.9	0.7839	0.00000	0.00000
Maggio	18.0	1444	14.2	1146	17.9	15.9	0.4458	0.00000	0.00000
Giugno	19.5	1586	19.5	1595	19.5	17.4	—	0.00000	0.00000
Luglio	22.3	1884	22.3	1747	22.3	20.1	—	0.00000	0.00000
Agosto	21.8	1827	21.8	1733	21.8	19.6	—	0.00000	0.00000
Settembre	18.4	1481	18.4	1559	18.4	16.3	—	0.00000	0.00000
Ottobre	20.0	1636	13.2	1157	19.8	17.9	0.6854	0.00000	0.00000
Novembre	20.0	1636	8.5	899	19.6	17.9	0.8140	0.00000	0.00000
Dicembre	20.0	1636	4.2	666	19.5	17.9	0.8646	0.00000	0.00000



fRsi struttura: 0.9685

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
 La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

Le prime due tipologie di costruzione, le quali utilizzano materiali tradizionali, prevedono un unico tipo di solaio multistrato i cui valori sono riportati di seguito:

Solaio interno (flusso ascendente):

$$U=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

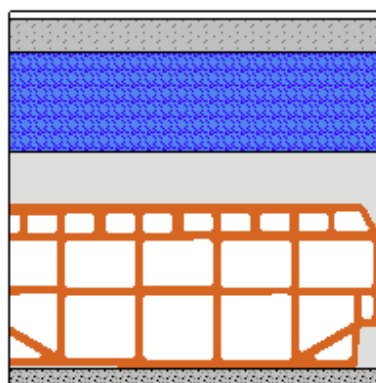
Tipologia Solaio interno (flusso discendente)

Descrizione SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO

Trasmittanza totale calcolata	0,250	W/m²K
Trasmittanza adottata	0,250	W/m²K
Massa superficiale	396,32	kg/m²
Trasmittanza periodica	0,022	W/m²K
Sfasamento	13,65	h
Smorzamento	0,088	---
Capacità termica interna	57,053	kJ/m²K

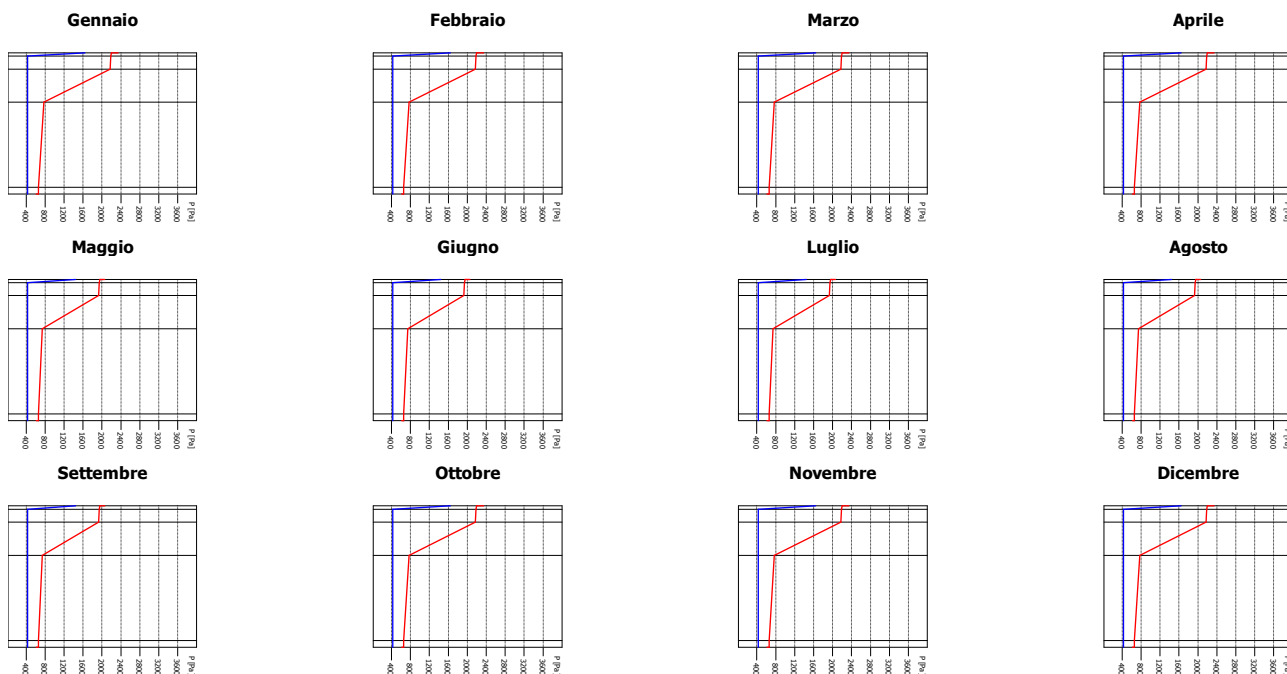
Strati

Materiale	Cond. [W/m²K]	Res. [m²K/W]	Spes. [cm]
Resistenza superficiale interna	5,88	0,170	
Piastrelle in ceramica	130,000	0,008	1,0
Calcestruzzo (1800 kg/m³)	28,750	0,035	4,0
Styrodur 2500 C 100 mm	0,308	3,247	12,0
Blocco da solaio di laterizio (495*200*250) spessore 260 (298 kg/m³)	2,857	0,350	26,0
Malta di calce o di calce e cemento	45,000	0,022	2,0
Resistenza superficiale esterna	5,88	0,170	
Totale:		4,002	45,0



Verifica termoigrometrica

Mese	Ti[°C]	Pi[Pa]	Te[°C]	Pe[Pa]	Tsi[°C]	Tsi,min[°C]	fRsi,min	gc[kg/m²]	Ma[kg/m²]
Gennaio	20.0	1636	0.0	427	19.0	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Febbraio	20.0	1636	0.0	427	19.0	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Marzo	20.0	1636	0.0	427	19.0	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Aprile	20.0	1636	0.0	427	19.0	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Maggio	18.0	1444	0.0	427	17.1	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Giugno	18.0	1444	0.0	427	17.1	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Luglio	18.0	1444	0.0	427	17.1	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Agosto	18.0	1444	0.0	427	17.1	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Settembre	18.0	1444	0.0	427	17.1	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Ottobre	20.0	1636	0.0	427	19.0	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Novembre	20.0	1636	0.0	427	19.0	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Dicembre	20.0	1636	0.0	427	19.0	17.9	0.8930	0.00000	0.00000



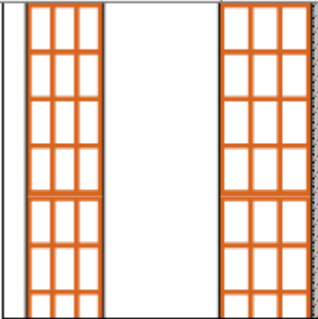
fRsi struttura: 0.9508

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

3.4 Scenario con calce & canapa

Il terzo scenario prevede una tamponatura con muratura con getto in opera in calce & canapa nell'intercapedine tra i due blocchi di laterizio :

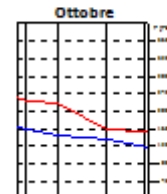
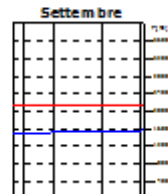
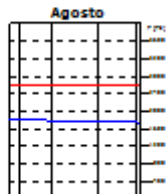
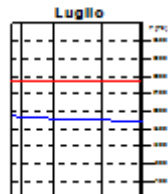
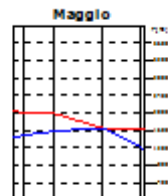
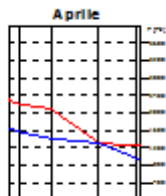
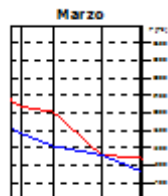
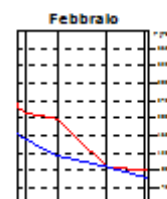
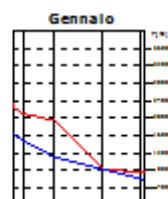
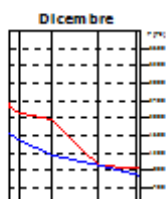
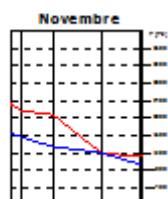
$$U=0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Descrizione	PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 41			
	Trasmittanza totale calcolata	0.260	W/m ² K	
	Trasmittanza adottata	0.260	W/m ² K	
	Massa superficiale	194.04	kg/m ²	
	Trasmittanza periodica	0.036	W/m ² K	
	Sfasamento	15.51	h	
	Smorzamento	0.138	—	
	Capacità termica interna	33.702	kJ/m ² K	
Strati	Materiale	Cond. [W/m²K]	Res. [m²K/W]	Spes. [cm]
	Resistenza superficiale interna	7.69	0.130	
	intonaco interno calce&canapa R4:1	4.000	0.250	3.0
	Mattone forato di laterizio (250*100*250) spessore 100	3.704	0.270	10.0
	CALCE&CANAPA R 1:1	0.353	2.833	15.0
	Mattone forato di laterizio (250*120*250) spessore 120	3.220	0.311	12.0
	Malta di calce o di calce e cemento	90.000	0.011	1.0
	Resistenza superficiale esterna	25.00	0.040	
	Totale:		3.845	41.0
				
Ponte termico	Tipologia di isolamento: Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto) Maggiorazione per ponte termico: 10.00%			

Verifica termoigrometrica

T

Mese	Ti[°C]	Pi[Pa]	Te[°C]	Pe[Pa]	Tsi[°C]	Tsi,min[°C]	fRsi,min	gc[kg/m²]	Ma[kg/m²]
Novembre	20.0	1636	8.5	899	19.6	17.9	0.8140	0.00609	0.00609
Dicembre	20.0	1636	4.2	666	19.5	17.9	0.8646	0.10706	0.11315
Gennaio	20.0	1636	2.7	578	19.4	17.9	0.8763	0.12909	0.24224
Febbraio	20.0	1636	3.6	598	19.4	17.9	0.8696	0.09280	0.33504
Marzo	20.0	1636	6.3	613	19.5	17.9	0.8439	-0.00616	0.32888
Aprile	20.0	1636	10.1	896	19.7	17.9	0.7839	-0.07868	0.25020
Maggio	18.0	1444	14.2	1146	17.9	15.9	0.4458	-0.25020	0.00000
Giugno	19.5	1586	19.5	1595	19.5	17.4	—	0.00000	0.00000
Luglio	22.3	1884	22.3	1747	22.3	20.1	—	0.00000	0.00000
Agosto	21.8	1827	21.8	1733	21.8	19.6	—	0.00000	0.00000
Settembre	18.4	1481	18.4	1559	18.4	16.3	—	0.00000	0.00000
Ottobre	20.0	1636	13.2	1157	19.8	17.9	0.6854	0.00000	0.00000



fRsi struttura: 0.9662

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

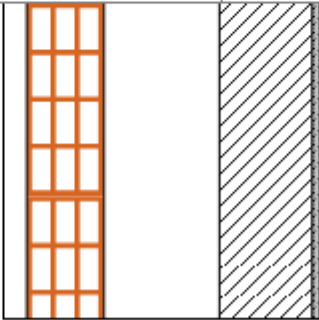
La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

La quantità di condensa massima (a febbraio) è di 0.33504 kg/m².

La condensa evapora completamente nei mesi successivi.

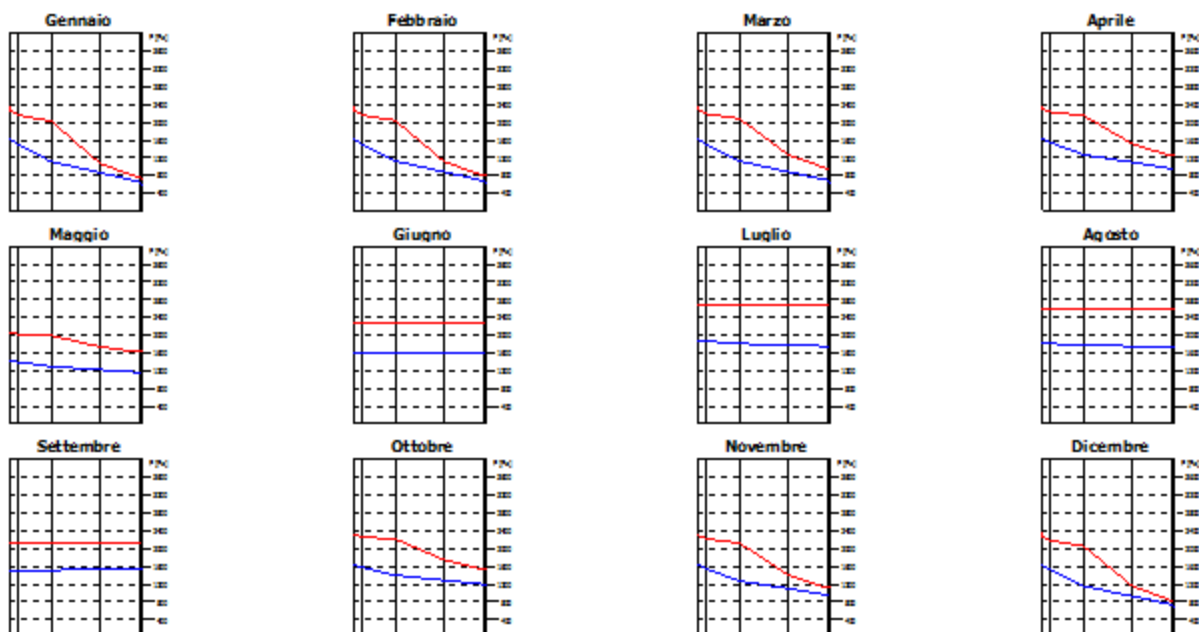
Il quarto scenario prevede una tamponatura con muratura con getto in opera in calce & canapa nell'intercapedine tra il blocco di laterizio e il blocco di biomattone anche esso in calce & canapa :

$$U=0.199 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tipologia	Parete esterna			
Descrizione	PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 41 BIOMATTONE			
	Trasmittanza totale calcolata	0.199	W/m ² K	
	Trasmittanza adottata	0.199	W/m ² K	
	Massa superficiale	160.20	kg/m ²	
	Trasmittanza periodica	0.026	W/m ² K	
	Sfasamento	13.54	h	
	Smorzamento	0.133	—	
	Capacità termica interna	33.826	kJ/m ² K	
Strati	Materiale	Cond. [W/m²K]	Res. [m²K/W]	Spes. [cm]
	Resistenza superficiale interna	7.69	0.130	
	intonaco interno calce&canapa R4:1	4.000	0.250	3.0
	Mattone forato di laterizio (250*100*250) spessore 100	3.704	0.270	10.0
	CALCE&CANAPA R 1:1	0.353	2.833	15.0
	BIOMATTONE 12 cm	0.667	1.499	12.0
	Malta di calce o di calce e cemento	90.000	0.011	1.0
	Resistenza superficiale esterna	25.00	0.040	
	Totale:		5.033	41.0
				
Ponte termico	Tipologia di isolamento: Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti Maggiorazione per ponte termico: 15.00%			

Verifica termoigrometrica

Mese	Ti[°C]	Pi[Pa]	Te[°C]	Pe[Pa]	Tsi[°C]	Tsi,min[°C]	fRsi,min	gc[kg/m²]	Ma[kg/m²]
Gennaio	20.0	1636	2.7	578	19.6	17.9	0.8763	0.00000	0.00000
Febbraio	20.0	1636	3.6	598	19.6	17.9	0.8696	0.00000	0.00000
Marzo	20.0	1636	6.3	613	19.6	17.9	0.8439	0.00000	0.00000
Aprile	20.0	1636	10.1	896	19.7	17.9	0.7839	0.00000	0.00000
Maggio	18.0	1444	14.2	1146	17.9	15.9	0.4458	0.00000	0.00000
Giugno	19.5	1586	19.5	1595	19.5	17.4	---	0.00000	0.00000
Luglio	22.3	1884	22.3	1747	22.3	20.1	---	0.00000	0.00000
Agosto	21.8	1827	21.8	1733	21.8	19.6	---	0.00000	0.00000
Settembre	18.4	1481	18.4	1559	18.4	16.3	---	0.00000	0.00000
Ottobre	20.0	1636	13.2	1157	19.8	17.9	0.6854	0.00000	0.00000
Novembre	20.0	1636	8.5	899	19.7	17.9	0.8140	0.00000	0.00000
Dicembre	20.0	1636	4.2	666	19.6	17.9	0.8646	0.00000	0.00000



fRsi struttura: 0.9742

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
 La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

Di seguito sono riportati i valori relativi al solaio in calce-canapa:

$$U=0.255\text{W/m}^2\text{K}$$

Solaio interno (flusso discendente)

Tipologia

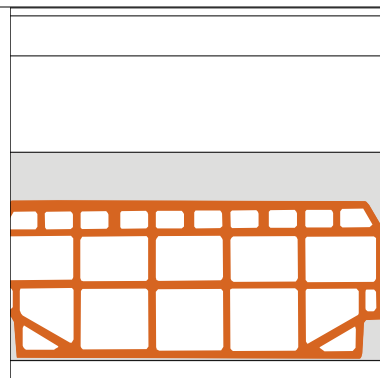
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE & CANAPA

Descrizione

Trasmittanza totale calcolata	0.255	W/m ² K
Trasmittanza adottata	0.255	W/m ² K
Massa superficiale	359.96	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.010	W/m ² K
Sfasamento	18.28	H
Smorzamento	0.040	---
Capacità termica interna	30.675	kJ/m ² K

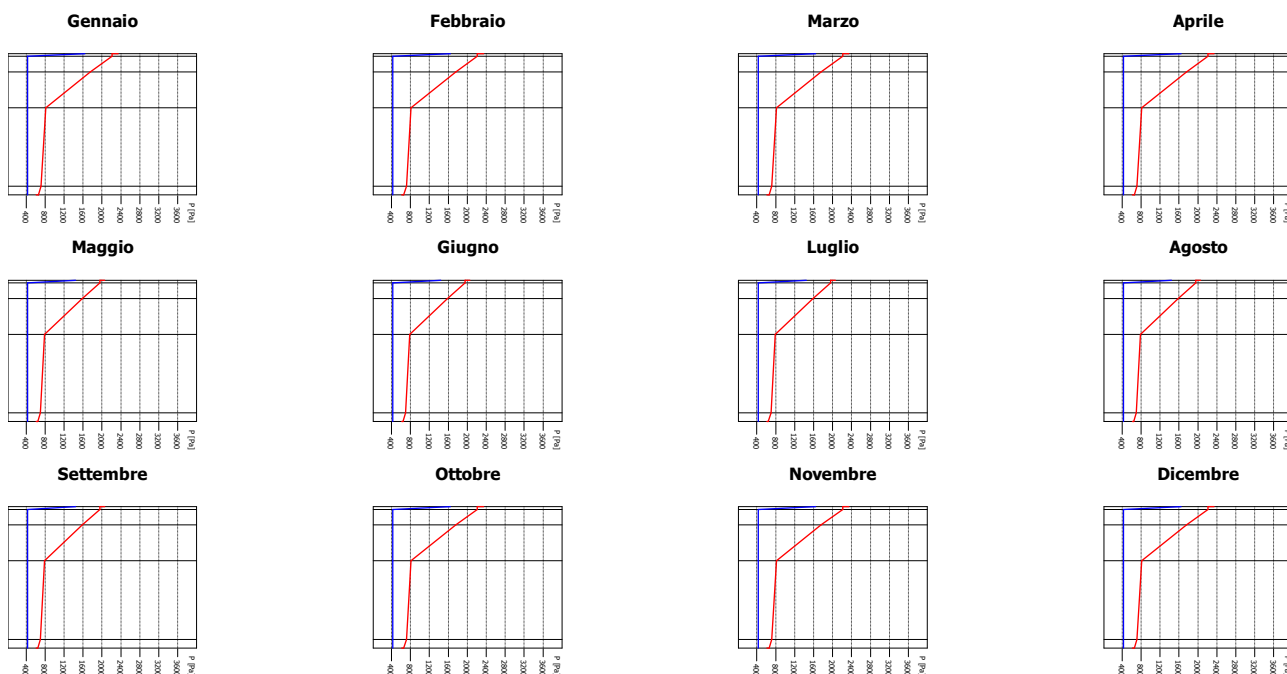
Strati

Materiale	Cond. [W/m ² K]	Res. [m ² K/W]	Spes. [cm]
Resistenza superficiale interna	5.88	0.170	
Piastrelle in ceramica	130.000	0.008	1.0
CALCE&CANAPA R 2:1	1.400	0.714	5.0
CALCE&CANAPA R 1:1	0.442	2.262	12.0
Blocco da solaio di laterizio(495*200*250) spessore 260 (298 kg/m ²)	2.857	0.350	26.0
intonaco interno calce&canapa R4:1	4.000	0.250	3.0
Resistenza superficiale esterna	5.88	0.170	
Totale:		3.924	47.0



Verifica termoigrometrica

Mese	Ti[°C]	Pi[Pa]	Te[°C]	Pe[Pa]	Tsi[°C]	Tsi,min[°C]	fRsi,min	gc[kg/m²]	Ma[kg/m²]
Gennaio	20.0	1636	0.0	427	19.1	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Febbraio	20.0	1636	0.0	427	19.1	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Marzo	20.0	1636	0.0	427	19.1	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Aprile	20.0	1636	0.0	427	19.1	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Maggio	18.0	1444	0.0	427	17.2	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Giugno	18.0	1444	0.0	427	17.2	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Luglio	18.0	1444	0.0	427	17.2	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Agosto	18.0	1444	0.0	427	17.2	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Settembre	18.0	1444	0.0	427	17.2	15.9	0.8830	0.00000	0.00000
Ottobre	20.0	1636	0.0	427	19.1	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Novembre	20.0	1636	0.0	427	19.1	17.9	0.8930	0.00000	0.00000
Dicembre	20.0	1636	0.0	427	19.1	17.9	0.8930	0.00000	0.00000



fRsi struttura: 0.9567

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

In questo capitolo ho voluto mostrare se, con l'utilizzo di materiale in calce & canapa al posto dei classici materiali, le caratteristiche termiche e igrometriche degli elementi costruttivi, quali muri di tamponamento e solai potessero migliorare il risparmio energetico dell'abitazione. Il lavoro svolto sinora ha portato ad una successiva comparazione di quattro certificazioni energetiche: due con utilizzo di materiali tradizionali (convenzionali) e le altre due con la soluzione con biocomposito in calce & canapa. Notiamo che con l'uso del biocomposito calce & canapa in rapporto 1:1, , già si raggiungono livelli sorprendenti a livello di calcolo della trasmittanza U e della verifica termoigrometrica. Abbattere i costi e migliorare le prestazioni energetiche è già un obiettivo da me proposto e raggiunto e in una prima fase il biocomposito calce & canapa risulta essere un materiale competitivo.

Di seguito riporterò una tabella, dove in sintesi verrà riassunto il confronto, seppur grossolano ma efficace a livello di prestazioni, di un semplice blocco di "biomattone" in calce & canapa, usato nel quarto scenario al posto del mattone in laterizio, prodotto dall'azienda Equilibrium con altri materiali, naturali e non, presenti attualmente sul mercato:

CAPITOLO 4

RISULTATI

In questo capitolo verrà riportata, prima la relazione di calcolo dell'intera abitazione relativa al CASO STUDIO TEORICO per lo scenario calce & canapa con tutti i dati necessari per l'output, poi, mediante il software "Namirial Termo" verrà redatto per tutti e quattro gli scenari l'attestato di prestazione energetica: due con materiali tradizionali e due con calce & canapa (come illustrati nel capitolo precedente) per giungere ad un confronto tra i vari scenari a livello di efficienza energetica.

4.1 Relazione di calcolo: caso calce & canapa

RELAZIONE DI CALCOLO

Comune: Bovino (FG)
Descrizione: ABITAZIONE PER USO CIVILE - utilizzo di prodotto calce-
Committente: DEDDA
Progettista impianti termici: DEDDA

Parametri climatici della località

Gradi giorno	2243 °C
Temperatura minima di progetto	-4.0 °C
Altitudine	620 m
Zona climatica	E
Giorni di riscaldamento	183
Velocità del vento	6.2 m/s
Zona di vento	2
Province di riferimento	Foggia Benevento

Temperature medie mensili (°C)

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
2.7	3.6	6.3	10.1	14.2	19.5	22.3	21.8	18.4	13.2	8.5	4.2

Irradiazioni medie mensili (MJ/m²)

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Orizz.	6.0	9.1	13.3	18.1	22.1	25.0	26.5	23.0	17.0	11.7	7.0	5.2
S	9.6	11.5	11.9	11.0	9.9	9.6	10.4	12.1	13.3	13.9	10.9	8.6
SE/SO	7.7	9.7	11.5	12.6	12.9	13.3	14.6	15.0	13.8	12.1	8.7	6.8
E/O	4.6	6.8	9.4	12.2	14.3	15.9	17.1	15.4	11.9	8.7	5.4	4.0
NE/NO	2.3	3.7	5.9	8.8	11.5	13.4	13.8	11.2	7.6	4.6	2.7	2.0
N	2.0	2.9	4.0	5.6	8.0	9.8	9.4	6.7	4.5	3.3	2.3	1.8

Dispersioni dei locali
abitazioni
ZONA TERMICA

Locale	Ti [°C]	Pt [W]	Pv [W]	PRH [W]	P [W]
Locale 36	20.0	460.6	320.0	338.5	1119.1
Locale 37	20.0	108.6	37.8	40.0	186.5
Locale 38	20.0	461.7	349.5	369.6	1180.8
Locale 39	20.0	11.3	23.9	25.3	60.5
Locale 40	20.0	116.3	52.1	55.1	223.4
Locale 41	20.0	201.9	135.1	142.9	479.9
Locale 29	20.0	309.9	320.0	338.5	968.5
Locale 30	20.0	165.9	37.8	40.0	243.8
Locale 31	20.0	0.0	23.9	25.3	49.2
Locale 32	20.0	297.2	349.5	369.6	1016.2
Locale 33	20.0	91.8	52.1	55.1	198.9
Locale 34	20.0	98.7	135.1	142.9	376.8
Locale 43	20.0	519.8	320.0	338.5	1178.3
Locale 44	20.0	190.8	37.8	40.0	268.6
Locale 45	20.0	15.7	23.9	25.3	64.9
Locale 46	20.0	526.4	349.5	369.6	1245.4
Locale 47	20.0	125.9	52.1	55.1	233.1
Locale 48	20.0	187.3	135.1	142.9	465.4
Totale zona:		3889.8	2755.3	2914.3	9559.4

Totale subalterno:	3889.8	2755.3	2914.3	9559.4
--------------------	--------	--------	--------	--------

Legenda

Ti: temperatura interna

Pt: potenza dispersa per trasmissione

Pv: potenza dispersa per ventilazione

PRH: potenza di ripresa richiesta per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente

P: potenza dispersa totale

Zone termiche non calcolate

Temperatura interna [°C]	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
PIANO TERRA	6.2	6.9	9.0	12.1	16.6	20.8	23.0	22.6	19.9	14.6	10.8	7.4
VANO SCALA	13.1	13.4	14.5	16.0	21.3	23.4	24.5	24.3	23.0	17.3	15.4	13.7
SOTTOTETTO	7.9	8.5	10.4	13.1	17.7	21.4	23.4	23.1	20.7	15.2	11.9	8.9

ZONA TERMICA**Perdita di calore per trasmissione****Riscaldamento****Perdite di calore per trasmissione verso l'esterno****Strutture esterne**

Struttura	Esposiz.	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	SudEst	75.125	0.197	14.800	1.480
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	NordEst	101.158	0.197	19.928	1.993
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	SudOvest	20.851	0.197	4.108	0.411
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	Ovest	51.504	0.197	10.146	1.015
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	NordOvest	3.217	0.197	0.634	0.063
Sottofinestra FINESTRE 80X130	NordEst	0.800	0.197	0.158	0.000
Sottofinestra FINESTRA 110X110	SudEst	1.100	0.197	0.217	0.000
BALCONI 120X230	SudEst	16.560	1.683	27.864	0.000
FINESTRE 80X130	NordEst	1.040	1.552	1.614	0.000
BALCONE 110X230	SudEst	5.060	2.300	11.638	0.000
FINESTRA 110X110	SudEst	1.210	2.239	2.709	0.000
				93.815	4.962
				Totale Ht:	98.776

Perdita di calore per trasmissione verso locali non riscaldati**Strutture verso il locale Locale 1**

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	30.773	0.255	7.847	0.000
			7.847	0.000
			Totale:	7.847

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	7.847	0.800	6.278
Febbraio	7.847	0.800	6.278
Marzo	7.847	0.800	6.278
Aprile	7.847	0.800	6.278
Ottobre	7.847	0.800	6.278
Novembre	7.847	0.800	6.278
Dicembre	7.847	0.800	6.278

Strutture verso il locale Locale 2

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	3.638	0.255	0.928	0.000
			0.928	0.000
			Totale:	0.928

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	0.928	0.800	0.742
Febbraio	0.928	0.800	0.742
Marzo	0.928	0.800	0.742
Aprile	0.928	0.800	0.742
Ottobre	0.928	0.800	0.742
Novembre	0.928	0.800	0.742
Dicembre	0.928	0.800	0.742

Strutture verso il locale Locale 4

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	33.601	0.255	8.568	0.000
			8.568	0.000
			Totale:	8.568

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	8.568	0.800	6.855
Febbraio	8.568	0.800	6.855
Marzo	8.568	0.800	6.855
Aprile	8.568	0.800	6.855
Ottobre	8.568	0.800	6.855
Novembre	8.568	0.800	6.855
Dicembre	8.568	0.800	6.855

Strutture verso il locale Locale 3

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	2.300	0.255	0.586	0.000
			0.586	0.000
			Totale:	0.586

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	0.586	0.800	0.469
Febbraio	0.586	0.800	0.469
Marzo	0.586	0.800	0.469
Aprile	0.586	0.800	0.469
Ottobre	0.586	0.800	0.469
Novembre	0.586	0.800	0.469
Dicembre	0.586	0.800	0.469

Strutture verso il locale Locale 42

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
PARETE INTERNA 10	9.328	2.075	19.355	0.968
			19.355	0.968
			Totale:	20.322

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	20.322	0.400	8.129
Febbraio	20.322	0.400	8.129
Marzo	20.322	0.400	8.129
Aprile	20.322	0.400	8.129
Ottobre	20.322	0.400	8.129
Novembre	20.322	0.400	8.129
Dicembre	20.322	0.400	8.129

Strutture verso il locale Locale 5

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	5.006	0.255	1.277	0.000
			1.277	0.000
			Totale:	1.277

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	1.277	0.800	1.021
Febbraio	1.277	0.800	1.021
Marzo	1.277	0.800	1.021
Aprile	1.277	0.800	1.021
Ottobre	1.277	0.800	1.021
Novembre	1.277	0.800	1.021
Dicembre	1.277	0.800	1.021

Strutture verso il locale Locale 6

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	12.993	0.255	3.313	0.000
			3.313	0.000
			Totale:	3.313

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	3.313	0.800	2.651
Febbraio	3.313	0.800	2.651
Marzo	3.313	0.800	2.651
Aprile	3.313	0.800	2.651
Ottobre	3.313	0.800	2.651
Novembre	3.313	0.800	2.651
Dicembre	3.313	0.800	2.651

Strutture verso il locale Locale 15

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	30.773	0.406	12.494	0.000
			12.494	0.000
			Totale:	12.494

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	12.494	0.700	8.746
Febbraio	12.494	0.700	8.746
Marzo	12.494	0.700	8.746

Aprile	12.494	0.700	8.746
Ottobre	12.494	0.700	8.746
Novembre	12.494	0.700	8.746
Dicembre	12.494	0.700	8.746

Strutture verso il locale Locale 16

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	3.638	0.406	1.477	0.000
			1.477	0.000
			Totale:	1.477

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	1.477	0.700	1.034
Febbraio	1.477	0.700	1.034
Marzo	1.477	0.700	1.034
Aprile	1.477	0.700	1.034
Ottobre	1.477	0.700	1.034
Novembre	1.477	0.700	1.034
Dicembre	1.477	0.700	1.034

Strutture verso il locale Locale 17

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	2.300	0.406	0.934	0.000
			0.934	0.000
			Totale:	0.934

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	0.934	0.700	0.654
Febbraio	0.934	0.700	0.654
Marzo	0.934	0.700	0.654
Aprile	0.934	0.700	0.654
Ottobre	0.934	0.700	0.654
Novembre	0.934	0.700	0.654
Dicembre	0.934	0.700	0.654

Strutture verso il locale Locale 18

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	33.601	0.406	13.642	0.000
			13.642	0.000
			Totale:	13.642

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	13.642	0.700	9.550
Febbraio	13.642	0.700	9.550
Marzo	13.642	0.700	9.550
Aprile	13.642	0.700	9.550
Ottobre	13.642	0.700	9.550
Novembre	13.642	0.700	9.550
Dicembre	13.642	0.700	9.550

Strutture verso il locale Locale 19

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	5.006	0.406	2.033	0.000
			2.033	0.000
			Totale:	2.033

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	2.033	0.700	1.423
Febbraio	2.033	0.700	1.423
Marzo	2.033	0.700	1.423
Aprile	2.033	0.700	1.423
Ottobre	2.033	0.700	1.423
Novembre	2.033	0.700	1.423
Dicembre	2.033	0.700	1.423

Strutture verso il locale Locale 20

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	12.993	0.406	5.275	0.000
			5.275	0.000
			Totale:	5.275

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Gennaio	5.275	0.700	3.693
Febbraio	5.275	0.700	3.693
Marzo	5.275	0.700	3.693
Aprile	5.275	0.700	3.693
Ottobre	5.275	0.700	3.693
Novembre	5.275	0.700	3.693
Dicembre	5.275	0.700	3.693

Mese	gg	Ti [°C]	Te [°C]	dT [°C]	Ht [W/K]	Phi [W]	Qtr,h [kWh]
Gennaio	31	20.0	2.7	17.3	150.019	89.839	1997.839
Febbraio	28	20.0	3.6	16.4	150.019	89.839	1713.768
Marzo	31	20.0	6.3	13.7	150.019	89.839	1596.029
Aprile	15	20.0	9.2	10.8	150.019	89.839	613.387
Ottobre	17	20.0	12.0	8.0	150.019	89.839	527.147
Novembre	30	20.0	8.5	11.5	150.019	89.839	1306.914
Dicembre	31	20.0	4.2	15.8	150.019	89.839	1830.418
Totale:							9585.502

Raffrescamento**Perdite di calore per trasmissione verso l'esterno****Strutture esterne**

Struttura	Esposiz.	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	SudEst	75.125	0.197	14.800	1.480
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	NordEst	101.158	0.197	19.928	1.993
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	SudOvest	20.851	0.197	4.108	0.411
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	Ovest	51.504	0.197	10.146	1.015
PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53	NordOvest	3.217	0.197	0.634	0.063
Sottofinestra FINESTRE 80X130	NordEst	0.800	0.197	0.158	0.000
Sottofinestra FINESTRA 110X110	SudEst	1.100	0.197	0.217	0.000

BALCONI 120X230	SudEst	16.560	1.683	27.864	0.000
FINESTRE 80X130	NordEst	1.040	1.552	1.614	0.000
BALCONE 110X230	SudEst	5.060	2.300	11.638	0.000
FINESTRA 110X110	SudEst	1.210	2.239	2.709	0.000
				93.815	4.962
				Totale Ht:	98.776

Perdita di calore per trasmissione verso locali non raffrescati

Strutture verso il locale Locale 1

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	30.773	0.255	7.847	0.000
			7.847	0.000
			Totale:	7.847

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	7.847	0.800	6.278
Luglio	7.847	0.800	6.278
Agosto	7.847	0.800	6.278
Settembre	7.847	0.800	6.278

Strutture verso il locale Locale 2

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	3.638	0.255	0.928	0.000
			0.928	0.000
			Totale:	0.928

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	0.928	0.800	0.742
Luglio	0.928	0.800	0.742
Agosto	0.928	0.800	0.742
Settembre	0.928	0.800	0.742

Strutture verso il locale Locale 4

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	33.601	0.255	8.568	0.000
			8.568	0.000
			Totale:	8.568

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	8.568	0.800	6.855
Luglio	8.568	0.800	6.855
Agosto	8.568	0.800	6.855
Settembre	8.568	0.800	6.855

Strutture verso il locale Locale 3

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	2.300	0.255	0.586	0.000
			0.586	0.000
			Totale:	0.586

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	0.586	0.800	0.469
Luglio	0.586	0.800	0.469
Agosto	0.586	0.800	0.469
Settembre	0.586	0.800	0.469

Strutture verso il locale Locale 42

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
PARETE INTERNA 10	9.328	2.075	19.355	0.968
			19.355	0.968
			Totale:	20.322

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	20.322	0.400	8.129
Luglio	20.322	0.400	8.129
Agosto	20.322	0.400	8.129
Settembre	20.322	0.400	8.129

Strutture verso il locale Locale 5

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	5.006	0.255	1.277	0.000
			1.277	0.000
			Totale:	1.277

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	1.277	0.800	1.021
Luglio	1.277	0.800	1.021
Agosto	1.277	0.800	1.021
Settembre	1.277	0.800	1.021

Strutture verso il locale Locale 6

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO VERSO AMBIENTE NON RISCALDATO CALCE E CANAPA	12.993	0.255	3.313	0.000
			3.313	0.000
			Totale:	3.313

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	3.313	0.800	2.651
Luglio	3.313	0.800	2.651
Agosto	3.313	0.800	2.651
Settembre	3.313	0.800	2.651

Strutture verso il locale Locale 15

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	30.773	0.406	12.494	0.000
			12.494	0.000
			Totale:	12.494

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	12.494	0.700	8.746
Luglio	12.494	0.700	8.746
Agosto	12.494	0.700	8.746
Settembre	12.494	0.700	8.746

Strutture verso il locale Locale 16

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	3.638	0.406	1.477	0.000
			1.477	0.000
			Totale:	1.477

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	1.477	0.700	1.034
Luglio	1.477	0.700	1.034
Agosto	1.477	0.700	1.034
Settembre	1.477	0.700	1.034

Strutture verso il locale Locale 17

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	2.300	0.406	0.934	0.000
			0.934	0.000
			Totale:	0.934

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	0.934	0.700	0.654
Luglio	0.934	0.700	0.654
Agosto	0.934	0.700	0.654
Settembre	0.934	0.700	0.654

Strutture verso il locale Locale 18

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	33.601	0.406	13.642	0.000
			13.642	0.000
			Totale:	13.642

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	13.642	0.700	9.550
Luglio	13.642	0.700	9.550
Agosto	13.642	0.700	9.550
Settembre	13.642	0.700	9.550

Strutture verso il locale Locale 19

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	5.006	0.406	2.033	0.000
			2.033	0.000
			Totale:	2.033

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	2.033	0.700	1.423
Luglio	2.033	0.700	1.423
Agosto	2.033	0.700	1.423
Settembre	2.033	0.700	1.423

Strutture verso il locale Locale 20

Struttura	A [m ²]	U [W/m ² K]	H [W/K]	Hpt [W/K]
SOLAIO INTERPIANO CALCE E CANAPA	12.993	0.406	5.275	0.000
			5.275	0.000
			Totale:	5.275

Mese	H [W/K]	b	Hu [W/K]
Giugno	5.275	0.700	3.693
Luglio	5.275	0.700	3.693
Agosto	5.275	0.700	3.693
Settembre	5.275	0.700	3.693

Mese	gg	Ti [°C]	Te [°C]	dT [°C]	Ht [W/K]	Phi [W]	Qtr,c [kWh]
Giugno	30	26.0	19.5	6.5	150.019	89.839	766.846
Luglio	31	26.0	22.3	3.7	150.019	89.839	479.888
Agosto	31	26.0	21.8	4.2	150.019	89.839	535.695
Settembre	22	26.0	18.7	7.3	150.019	89.839	624.961
						Totale:	2407.391

Legenda

A: area struttura

U: trasmittanza termica struttura

H: coefficiente di scambio termico

b: fattore di correzione del locale

Hpt: coefficiente di scambio termico dovuto ai ponti termici

l: lunghezza ponte termico

Psi: trasmittanza termica lineica ponte termico

Ti: temperatura interna

Tu: temperatura locale non riscaldato/raffrescato

Te: temperatura esterna

Ta: temperatura locale adiacente

Ht: coefficiente di scambio termico per trasmissione

Phi: extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste

Qt,h: energia scambiata nel periodo di riscaldamento

Qt,c: energia scambiata nel periodo di raffrescamento

P: perimetro pavimento esposto al terreno

Sw: spessore pareti perimetrali

dis: spessore isolante

lis: conduttività isolante

D: larghezza isolamento di bordo

z: altezza pavimento dal terreno

Uw: trasmittanza pareti spazio areato

e: area apertura di ventilazione

Ug: trasmittanza pavimento interrato

Perdita di calore per ventilazione

V [m³]	n [1/h]	f	k	qve [m³/h]	etav [%]	G [m³/h]	H [W/K]
688.832	0.30			206.650		206.650	68.883

Mese	gg	Ti [°C]	Te [°C]	dT [°C]	H [W/K]	Qve,h [kWh]
Gennaio	31	20.0	2.7	17.3	68.883	886.644
Febbraio	28	20.0	3.6	16.4	68.883	759.179
Marzo	31	20.0	6.3	13.7	68.883	702.147
Aprile	15	20.0	9.2	10.8	68.883	266.795
Ottobre	17	20.0	12.0	8.0	68.883	225.216
Novembre	30	20.0	8.5	11.5	68.883	570.387
Dicembre	31	20.0	4.2	15.8	68.883	809.771
Totale:						4220.139

Mese	gg	Ti [°C]	Te [°C]	dT [°C]	H [W/K]	Qve,c [kWh]
Giugno	30	26.0	19.5	6.5	68.883	322.407
Luglio	31	26.0	22.3	3.7	68.883	189.657
Agosto	31	26.0	21.8	4.2	68.883	215.281
Settembre	22	26.0	18.7	7.3	68.883	265.179
Totale:						992.523

Legenda

V: volume netto locale

n: ricambi d'aria / ricambi d'aria a 50 Pa

f: frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria

k: Coefficiente di contemporaneità di utilizzo delle bocchette aspiranti

qve: portata d'aria

etav: efficienza recuperatore di calore

G: portata effettiva

H: coefficiente di scambio termico

Ti: temperatura interna

Te: temperatura esterna

Qve,h: energia scambiata nel periodo di riscaldamento

Qve,c: energia scambiata nel periodo di raffrescamento

Apporti solari attraverso superfici trasparenti**Riscaldamento****BALCONI 120X230 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione SudEst)**

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	7.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	66.854
Febbraio	28	9.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	76.777
Marzo	31	11.5	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	100.173
Aprile	15	12.4	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	52.201
Ottobre	17	11.2	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	53.762
Novembre	30	8.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	73.831
Dicembre	31	6.8	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	59.185
Totale:										482.784

FINESTRA 110X110 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione SudEst)

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	7.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.733	0.442	29.169
Febbraio	28	9.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.733	0.442	33.499
Marzo	31	11.5	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.733	0.442	43.706
Aprile	15	12.4	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.733	0.442	22.776
Ottobre	17	11.2	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.733	0.442	23.457
Novembre	30	8.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.733	0.442	32.213
Dicembre	31	6.8	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.733	0.442	25.823
Totale:										210.643

BALCONI 120X230 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione SudEst)

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	7.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	66.854
Febbraio	28	9.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	76.777
Marzo	31	11.5	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	100.173
Aprile	15	12.4	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	52.201
Ottobre	17	11.2	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	53.762
Novembre	30	8.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	73.831
Dicembre	31	6.8	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	59.185
Totale:										482.784

FINESTRE 80X130 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione NordEst)

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	2.3	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.440	0.265	5.210
Febbraio	28	3.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.440	0.265	7.595
Marzo	31	5.9	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.440	0.265	13.527
Aprile	15	8.1	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.440	0.265	8.978
Ottobre	17	4.1	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.440	0.265	5.162
Novembre	30	2.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.440	0.265	5.927
Dicembre	31	2.0	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	0.440	0.265	4.661
Totale:										51.060

BALCONI 120X230 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione SudEst)

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	7.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	66.854
Febbraio	28	9.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	76.777
Marzo	31	11.5	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	100.173
Aprile	15	12.4	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	52.201
Ottobre	17	11.2	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	53.762
Novembre	30	8.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	73.831
Dicembre	31	6.8	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	59.185
Totale:										482.784

BALCONE 110X230 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione SudEst)

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	7.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	66.416
Febbraio	28	9.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	76.275
Marzo	31	11.5	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	99.517
Aprile	15	12.4	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	51.860

Ottobre	17	11.2	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	53.410
Novembre	30	8.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	73.348
Dicembre	31	6.8	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	58.797
Totale:										479.623

BALCONI 120X230 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione SudEst)

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	7.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	66.854
Febbraio	28	9.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	76.777
Marzo	31	11.5	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	100.173
Aprile	15	12.4	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	52.201
Ottobre	17	11.2	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	53.762
Novembre	30	8.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	73.831
Dicembre	31	6.8	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	59.185
Totale:										482.784

BALCONI 120X230 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione SudEst)

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	7.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	66.854
Febbraio	28	9.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	76.777
Marzo	31	11.5	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	100.173
Aprile	15	12.4	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	52.201
Ottobre	17	11.2	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	53.762
Novembre	30	8.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	73.831
Dicembre	31	6.8	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	59.185
Totale:										482.784

BALCONE 110X230 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione SudEst)

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	7.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	66.416
Febbraio	28	9.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	76.275
Marzo	31	11.5	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	99.517
Aprile	15	12.4	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	51.860
Ottobre	17	11.2	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	53.410
Novembre	30	8.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	73.348
Dicembre	31	6.8	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.669	1.006	58.797
Totale:										479.623

BALCONI 120X230 su PARETE ESTERNA MULTISTRATO CALCE CANAPA 53 (esposizione SudEst)

Mese	gg	Irr [MJ/m²gg]	g	Fh	Ff	Fo	Fc	Ag [m²]	Ae [m²]	Qsol,i [kWh]
Gennaio	31	7.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	66.854
Febbraio	28	9.7	0.603	1.000	1.000	1.000	1.000	1.680	1.013	76.777

4.2 Prestazioni energetiche

Nel seguente paragrafo verranno riportate le quattro diverse certificazioni energetiche per l'intera abitazione composta nel primo caso da muratura poroton pluristrato e solaio pluristrato, nel secondo caso da muratura con mattoni forati e cappotto a base di calce e solaio uguale al primo caso e, infine, gli altri due scenari composti da muratura con mattoni forati di laterizio e biomattone e getto in opera calce & canapa rapporto 1:1 e solaio anch'esso realizzato con il biocomposito calce e canapa.

- Certificazione energetica scenario con muratura pluristato poroton:

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Edificio residenziale

1. INFORMAZIONI GENERALI

Colore Certificato		validità	10 anni
Riferimenti catastali			
Indirizzo edificio	Bovino (FG) - BOVINO		
Nuova costruzione	☐	Passaggio di proprietà	☐
		Riclassificazione energetica	☐
Proprietà	DEDDA	Telefono	
Indirizzo		E-mail	

2. CLASSE ENERGETICA GLOBALE DELL'EDIFICIO

Edificio di classe: C

3. GRAFICO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE GLOBALE E PARZIALI

EMISSIONI DI CO₂
18.3 kgCO₂/m²anno

**PRESTAZIONE
ENERGETICA GLOBALE**
75.5 kWh/m²anno

**PRESTAZIONE
RISCALDAMENTO**
55.5 kWh/m²anno

**PRESTAZIONE
RAFFRESCAMENTO**
15.0 kWh/m²anno

**PRESTAZIONE
ACQUA CALDA**
15.0 kWh/m²anno

4. QUALITÀ INVOLUCRO (RAFFRESCAMENTO)

I	II	III	IV	V
---	----	-----	----	---

5. Metodologie di calcolo adottate

Norme UNI/TS 11300

D.M. 26/06/2009 - Allegato A - paragrafo 6.1

6. RACCOMANDAZIONI		
Interventi	Prestazione Energetica/Classe a valle del singolo intervento	Tempo di ritorno (anni)
PRESTAZIONE ENERGETICA RAGGIUNGIBILE		

7. CLASSIFICAZIONE ENERGETICA GLOBALE DELL'EDIFICIO			
SERVIZI ENERGETICI INCLUSI NELLA CLASSIFICAZIONE	Riscaldamento	☒ Raffrescamento	☐ Acqua calda sanitaria

A+ < 28.2 kWh/m²anno	76.5 kWh/m²anno
A < 43.4 kWh/m²anno	
B < 55.6 kWh/m²anno	
C < 65.8 kWh/m²anno	
D < 107.0 kWh/m²anno	
E < 144.4 kWh/m²anno	
F < 202.0 kWh/m²anno	
G ≥ 202.0 kWh/m²anno	

Rif. legislativo = 65.8 kWh/m²anno

8. DATI PRESTAZIONI ENERGETICHE PARZIALI			
8.1 RAFFRESCAMENTO	8.2 RISCALDAMENTO	8.3 ACQUA CALDA SANITARIA	
Indice energia primaria (EP _{cl})	Indice energia primaria (EP)	Indice energia primaria (EP _{ac})	15.5
Indice energia primaria limite di legge (D.Lgs. 152/03)	Indice energia primaria limite di legge (D.Lgs. 152/03)	Indice energia primaria limite di legge	
Indice involucro (EP _{invol})	Indice involucro (EP _{invol})	Indice involucro	
Rendimento stagionale	Rendimento medio stagionale impianto (η _{st})	Rendimento stagionale	
Pot. rinnovabili	Pot. rinnovabili	Pot. rinnovabili	0.0

CONCLUSIONI

A conclusione della tesi viene posto un quadro generale sui risultati ottenuti in base agli obiettivi che erano stati posti.

Ricordiamo che il primo obiettivo era quello di rivalorizzare la canapa come materiale da costruzione. Sono stati ottenuti ottimi risultati, grazie anche al contatto diretto con l'azienda Equilibrium che ha fornito innumerevoli e utili informazioni su questo materiale. D'altra parte però, come già accennato, è importante l'utilizzo della miscela stessa proprio in stato umido perché rende il biocomposito ignifugo e soprattutto resistente all'attacco di insetti e roditori.

Il secondo ed il terzo obiettivo camminano di pari passo perché riguardano la progettazione e valutazione energetica dell'involucro ed impiantistica che dovrebbero essere fatte insieme. Diciamo che l'obiettivo era, in parte riuscire a portare avanti un progetto in maniera "completa" sotto ogni aspetto senza fossilizzarsi solo su calcoli strutturali, e in parte vedere come la tecnologia canapa & calce possa essere un sistema efficiente dal punto di vista termico e quindi impiantistico potendo portare ad un abbattimento del consumo energetico nelle abitazioni.

I risultati ottenuti sono molto soddisfacenti; come riportato nel terzo e quarto capitolo riguardanti il caso studio, infatti, i valori principali ottenuti su cui basare le considerazioni finali sono:

- Il valore della trasmittanza U ;
- il carico termico invernale;
- l'indice Ep di prestazione energetica totale e la classe di appartenenza;
- l'indice di energia primaria EP_i ;
- l'indice di prestazione energetica invernale dell'involucro $EP_{i,inv.}$;
- l'indice di prestazione energetica estiva dell'involucro $EP_{e,inv.}$;

Questi valori ci permettono di dire che la tecnologia calce & canapa è molto performante oltre che innovativa. A questo va aggiunto il fatto che è un sistema veloce da realizzare e non troppo complicato ma ancora poco conosciuto dal punto di vista applicativo, motivo del quale in linea di massima il biocomposito si discosta circa del 26% in più dal costo di costruzione dagli altri materiali convenzionali. I costi di costruzione vengono ammortizzati già nei primi 5 anni quindi il biocomposito risulta essere a livello di risparmio energetico un materiale competitivo.

Per concludere si ricorda, ancora una volta, che quello presentato in questa tesi è un progetto preliminare; ho dato un quadro di insieme relativamente a un particolare sistema innovativo. Sarebbe molto interessante in futuro poter riprendere la tesi sviluppandola tramite calcoli strutturali, verifiche e magari un'analisi di costi più dettagliata.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Woolley e Bevan 2007

McGraw-Hill Costruzione, 2008

Balaras et al., 2005

Nässén et al., 2007;

Althaus et al., 2005

Balaras et al., 2005

Aste et al., 2010

Sobotka & Rolak, 2009

F.Zhang & P.Cooke, 2010

Levine et al., 2007

WBCSD, 2009

Quaderni per l'energia vol.3, "CasaClima FVG, edifici ad energia quasi zero".

Vademecum di edilportale, "Edifici ad energia quasi zero"

Cristian Colombo n°736101 Ottavio Ruggieri n°766132 2011/2012 "Edilizia a basso impatto ambientale: analisi del ciclo di vita di materiali naturali a base di calce-canapulo" tesi di laurea
Relatore: Prof. Giovanni Dotelli Correlatore: Ing. Gianluca Ruggieri, Politecnico di Milano.

Matthieu Narducci 2010/11 "La canapa nell'edilizia" Relatore: Gianfranco Cavaglià Politecnico di Torino Facoltà I - Scienze dell'Architettura.

Davide Guarini 2012/2013 "" Relatore

RIFERIMENTI NORMATIVI

Direttiva Europea 19/05/2010 n. 2010/31/UE "Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia".

Direttiva Europea 16/12/2002 n. 2002/91/CE "Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia".

Legge dello Stato 09/01/1991 n.10 “Norme per l’attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso nazionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”.

Decreto Legislativo 19/08/2005 n.192 “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia”.

Decreto Legislativo 29/12/2006 n. 311 “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192”.

Decreto del Presidente della Repubblica 02/04/2009 n. 59 “Regolamento di attuazione dell’articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192”. 105.

Decreto Ministeriale 26/06/2009 “Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”.

Decreto Legislativo 30/05/2008 n. 115 “Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all’efficienza degli usi finali dell’energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE”.

Direttiva Europea 05/04/2006 n. 2006/32/CE “Efficienza degli usi finali dell’energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio”.

Decreto Legge 25/06/2008 n. 112 “Disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione tributaria”.

Decreto Legislativo 03/03/2011 n. 28 “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”.

Direttiva Europea 23/04/2009 n. 2009/28/CE “Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”. 106

Delibera Giunta Regionale 20 settembre 2010, n.1362 “Modifiche agli allegati di cui alla parte seconda della Delibera di Assemblea legislativa n.156/2008”.

Delibera 06/10/2009 n.255 “Modifica alla deliberazione dell’Assemblea legislativa n. 156/2008”.

Delibera 21/09/2009 n. 1390 “Modifica agli allegati tecnici della Deliberazione dell’Assemblea Legislativa n. 156/2008”.

Delibera Assemblea Legislativa 4 marzo 2008, n. 156 “Atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici”.

SITOGRAFIA

<http://www.treccani.it>

<http://www.equilibrium-bioedilizia.com/>

http://europa.eu/legislation_summaries.htm

http://www.regione.puglia.it/web/files/ediliziaresidenziale/regolamento_certificazione_energetica.pdf

www.manuali.cened.it