

Inovação e integração de sistemas bioclimáticos em arquitetura para clima temperado: Perspectivas futuras

Fabrizio Tucci

Universidade 'La Sapienza' di Roma, Dipartimento di Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura, Roma, Italia

fabrizio.tucci@uniroma1.it

Ingrid Fonseca

Universidade 'La Sapienza' di Roma, Dipartimento di Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura, Roma, Italia

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Grupo de Estudos em Arquitetura, Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Rio de Janeiro (RJ), Brasil

ingrid.c.l.fonseca@gmail.com

RESUMO: Com objetivo de atingir níveis cada vez maiores de eficiência energética em edificações, profissionais da arquitetura e engenharia buscam constantemente o aprimoramento de soluções que permitam alcançá-los. Após um percurso de pesquisas e aplicações de estratégias de modo individual, hoje sabe-se da importância de usá-las de modo combinado, como medida mais eficaz. Assim, a prática da arquitetura bioclimática aliada à incorporação de tecnologias para integração das energias renováveis em edificações possibilita nos aproximarmos do conceito de NZEB (*Nearly Zero-Energy Building*), introduzido pela Comunidade Europeia em 2010, que se refere a edifícios com consumo energético muito baixo ou quase nulo. Soma-se a isso a importante necessidade da continuidade de investimento em técnicas inovadoras e programas de incentivo para tal. O artigo, fruto de pesquisa de pós-doutoramento em andamento na *Università "La Sapienza" di Roma* em parceria com o AMBEE/UFRJ, tem como objetivos principais evidenciar a importância: (i) da integração de estratégias e tecnologias aplicáveis a clima temperado de modo combinado na busca dos NZEB; (ii) de pesquisas e programas de incentivos para tal. Para isso delineou-se a metodologia, apresentando inicialmente as estratégias passivas recomendadas para redução do consumo energético e as principais tecnologias para aproveitamento de fontes renováveis de energia. Na sequência, apresenta e discute medidas de incentivo na busca dos NZEB, considerando a integração das estratégias apontadas. Como resultados principais, tem-se a comprovação da eficiência da integração dos sistemas, destaca-se o papel do invólucro arquitetônico como filtro seletivo e polivalente e a necessidade de integração dos diversos atores envolvidos nesta busca.

Palavras-chave *Eficiência energética, Integração de sistemas passivos, Inovação, Edifícios a consumo de energia quase zero (NZEB).*

1. INTRODUÇÃO

O cenário de crise ambiental global exigiu dos profissionais da arquitetura e engenharia uma importante mudança de atitude ao projetar e construir de modo a perseguir o objetivo de redução de consumo pelas edificações. E neste contexto a tecnologia passou a ter papel fundamental, não mais como aquela capaz de possibilitar que todo e qualquer edifício em qualquer contexto climático pudesse funcionar de modo adequado e gerar condições ótimas de conforto ambiental, ainda que a um alto custo energético e econômico. Mas de modo diverso, diante da necessidade de redução de consumo de energia, esta passou a ter papel relevante como aquela capaz de oferecer recursos e conhecimentos específicos para o desenvolvimento de métodos e ferramentas que, através de pesquisas e de modo aplicado, favoreçam a eficiência no uso de energia. E na área de conhecimento da tecnologia, vencer o desafio de projetar edifícios eficientes encontra seu espaço e possibilidades talvez como em nenhuma outra área de pesquisa e atuação, fazendo dela uma importante aliada nesta busca.

Quando a crise energética atingiu seu ápice fomos obrigados a reduzir sua demanda pelas edificações e incorporar definitivamente práticas sustentáveis com atenção ao ciclo de vida da cadeia construtiva. Inicialmente, a redução da demanda de energia nos fez voltar a atenção à prática da arquitetura bioclimática, tirando partido dos recursos naturais para promoção do conforto dos usuários e consequente redução da dependência de energia, numa retomada dos princípios da arquitetura vernacular, aquela que se aproveita dos recursos locais para oferecer condições de habitabilidade, e da qual a própria tecnologia, através de recursos artificiais, nos levou a um distanciamento.

Num avanço da prática da arquitetura bioclimática complementada pela especificação de equipamentos eficientes para a redução de consumo de energia, houve uma evolução nos métodos e tecnologias capazes de promover a exploração de energias renováveis para redução ainda maior deste consumo. Dentre tais tecnologias destacam-se a instalação de painéis solares para aquecimento de água, numa redução da necessidade de energia elétrica para tal fim; painéis fotovoltaicos para geração direta de energia elétrica; e o uso da geotermia superficial, aquela que através de condutores enterrados possibilita seja o resfriamento ou o aquecimento de ambientes devido à temperatura mais estável do subsolo.

Estas tecnologias tornaram viável o projeto de edificações que funcionem de modo autônomo, capazes de gerar sua própria energia para consumo, tornando-se este um objetivo perseguido em novos projetos, especialmente após 2010, quando a Comunidade Europeia, através da Diretiva 2010/31 EU (2010b, 2012), introduziu o conceito de NZEB (*Nearly Zero-Energy Building*), referente a edifícios com consumo energético muito baixo ou quase nulo e estabeleceu uma meta de redução deste consumo em 20% até 2020, reforçando a ideia da geração de organismos energeticamente independentes.

Tais solicitações da parte da CE - que incluem ainda exigência de avaliação relativa ao uso das energias renováveis em novos projetos - e o incentivo a edificações autônomas, alavancaram as pesquisas acadêmicas e encorajaram a experimentação de tecnologias e práticas inovadoras, seja de modo isolado como forma de individualizar suas eficiências, seja integrando diversas estratégias na busca de maior eficiência global, mostrando-se esta mais eficiente em relação à adoção de estratégias de modo isolado.

O artigo - fruto de pesquisa de pós-doutoramento em andamento na *Università "La Sapienza" di Roma* em parceria com o Grupo de Estudos em Arquitetura, Conforto Ambiental e Eficiência Energética da UFRJ - tem como objetivos principais evidenciar a importância: (i) da integração de estratégias e tecnologias aplicáveis a clima temperado de modo combinado na busca dos NZEB; (ii) de programas de incentivos para tal. Com tal finalidade foi delineada a metodologia. Inicialmente, são apresentadas as estratégias passivas recomendadas para redução do consumo energético em tal contexto climático e as principais tecnologias para aproveitamento de fontes renováveis de energia. Na sequência, são apresentadas e discutidas medidas de incentivo na busca dos NZEB, considerando a integração das estratégias apontadas.

2. ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PRINCIPAIS RECOMENDADAS PARA CLIMA TEMPERADO

A adoção das corretas estratégias projetuais bioclimáticas é de extrema importância para o sucesso do projeto arquitetônico que visa garantir conforto aos usuários, com baixo consumo energético e para isso o conhecimento do clima local tem papel primordial. Em clima temperado, tais estratégias podem ser definidas basicamente em razão da correção das condições de desconforto tanto no inverno quanto no verão, tornando este tipo de arquitetura mais complexa por ter que se adaptar a diferentes situações ao longo do ano (Serra 1999).

Abrangendo predominantemente uma faixa de latitude entre 30° e 60°, o clima temperado possui como característica geral temperatura média do ar dos meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C, temperatura média do mês mais quente acima de 10°C (Köppen & Geiger 1928) e uma boa definição das estações com invernos e verões mais pronunciados de acordo com a localização em relação à costa (Hausladen *et al.* 2012). De acordo com a latitude, diferentes especificidades climáticas se delineiam (por exemplo, mais ou menos disponibilidade de radiação solar e seus consequentes valores de temperatura e diferenciações quanto à exposição das fachadas), definindo estratégias particulares (Hausladen *et al.* 2012).

A necessidade de atender às exigências resultantes das variações anuais demanda por construções que sejam facilmente adaptáveis à amplitude anual de temperatura e para isso edifícios requerem muita energia, tanto para aquecimento como para resfriamento. De modo geral destacam-se como principais estratégias passivas: ventilação natural seja para resfriamento (em períodos quentes) que para a manutenção da qualidade do ar (em períodos frios); e aquecimento passivo (para períodos frios). Tem-se ainda como medida importante evitar perdas por dispersão e controle da infiltração de ar nos períodos frios e controlar os ganhos solares passivos e internos nos períodos mais quentes.

2.1 Ventilação e resfriamento passivo

De um modo geral, em clima temperado a ventilação natural é possível em quase todo o ano (Hausladen *et al.* 2012). No verão assume papel importante para o resfriamento natural dos ambientes garantindo conforto térmico e no inverno para manutenção da qualidade do ar, garantindo boas condições de higiene e saúde (Tucci 2012). Diversas são as estratégias para o aproveitamento da ventilação natural em clima temperado, tendo como exemplos

principais: caminho de vento ou efeito chaminé - aquele provocado por diferença de temperatura do ar, princípio presente nos projetos de átrios bioclimáticos onde, cobertos por superfícies envidraçadas permitem o aquecimento no inverno e estas, desde que com aberturas, permitem a circulação de ar no verão (Fig. 1); ventilação cruzada - possível através do correto posicionamento e dimensionamento de aberturas, e provocada pela diferença de pressão do ar, que também requer a flexibilidade de modo a atender às solicitações de conforto e higiene seja no verão ou inverno (Fig. 2).



Figura 1. Átrio bioclimático com ventilação natural por efeito de diferença de temperatura (efeito “tipo chaminé”) – em inverno e verão. Fonte: Tucci, 2012



Figura 2. Ventilação natural por efeito de diferença de pressão (ventilação cruzada) – em inverno e verão. Fonte: Tucci, 2012

Ressalta-se que em períodos quentes faz-se importante a exploração da ventilação noturna para resfriamento, tirando partido, através da amplitude térmica diária, da temperatura do ar mais baixa nas horas noturnas.

2.2 Aquecimento passivo

Como estratégia passiva principal para períodos frios em clima temperado, destacamos os sistemas solares passivos para ganho térmico, seja por: radiação direta, como o efeito serra através de vidros corretamente especificados e protegidos de modo a evitar dispersão noturna ou aquecimento em períodos quentes (Fig. 3); ou por ganhos indiretos, como o armazenamento em massa térmica ou muro trombe (Figs. 4 e 5) (Tucci 2014).

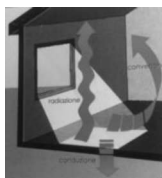


Figura 3. Ganho solar direto através de envidraçados para período de inverno. Fonte: Fanou, 2007



Figura 4. Efeito de acúmulo de calor em massa térmica em período de inverno. Fonte: Fanou, 2007



Figura 5. Comportamento do efeito da massa térmica em período de verão. Fonte: Fanou, 2007

Desta forma, no que se refere ao máximo aproveitamento dos recursos naturais para o projeto bioclimático são essenciais a correta implantação e exposição, seja aos ventos predominantes que à radiação solar. Faz-se ainda importante adotar medidas complementares ao projeto bioclimático para conservação de energia, como escolha de materiais apropriados (atendendo às normativas locais), atendimento à recomendação de isolamento com particular atenção às trocas térmicas pelo contato com o solo.

3. USO DE FONTES RENOVÁVEIS EM CLIMA TEMPERADO

Aliado e incorporado às estratégias acima descritas, tem-se o uso de fontes de energia renováveis, que tirando partido das condições naturais também exploradas pelas estratégias passivas, vem cumprir papel relevante neste contexto que objetiva a redução de consumo energético a níveis mínimos. Destacam-se como fontes renováveis principais a serem exploradas em projetos de edificações: a energia solar, que se aproveita do sol seja para aquecimento de água que para geração de energia elétrica; e a geotermia, que tira partido das condições de temperatura mais estável do subsolo especialmente nas camadas superficiais e, portanto, mais adequadas ao nível do edifício.

De acordo com BPIE - Buildings Performance Institute Europe (2011a) um dos desafios dos NZEB, porém, é lidar adequadamente com as disparidades locais e temporais de produção de energia renovável, necessário a fim de, por um lado, maximizar a participação das energias renováveis e reduções de emissões e, por outro lado, garantir um desenvolvimento sustentável dos sistemas de aquecimento e refrigeração locais. A seguir são descritas de modo sucinto tais fontes de energia renovável exploradas ao nível do edifício.

3.1 Geotermia superficial e a importância da integração das áreas de conhecimento

O princípio do uso da geotermia para o condicionamento passivo de edificações, chamados sistemas de condutores subterrâneos ou tubos enterrados, se baseia no fato de que a temperatura do subsolo a poucos metros de profundidade tende a ser mais amena e, em determinadas profundidades, mais estável que a temperatura do ar exterior, com amplitudes de cerca de 1°C a 2°C ao longo do ano, de acordo com Neto & Voltani (2013). Assim, em períodos quentes, a temperatura tende a ser mais fresca e, em períodos frios, tende a ser menos agressiva (Fig. 6).

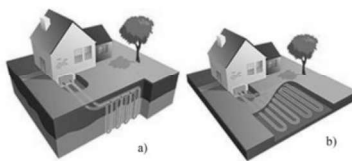


Figura 6. Instalações vertical (a) e horizontalmente (b) dispostas no terreno. Fonte: Juvêncio 2011

De acordo Nogueira & Pralon (2011), dados experimentais mostraram que a poucos metros de profundidade (a partir de 2,00m, em alguns casos) a temperatura do solo é praticamente igual à temperatura média anual do ar ambiente no respectivo local, o que causa uma redução do consumo energético para que sejam alcançadas temperaturas de conforto, tendo seu rendimento incrementado especialmente em locais com grande amplitude térmica anual.

Os sistemas podem funcionar naturalmente (com captura do ar exterior) ou com auxílio de bombas de calor para regular a temperatura do ar interno aos níveis de conforto. Para um perfeito rendimento e possibilidade de aproveitamento da energia geotérmica em edifícios é essencial a integração também entre áreas de conhecimento da arquitetura (que a considerará já nas fases preliminares de projeto), geologia (que fornecerá informações sobre o solo e conseqüente viabilidade para implementação) e engenharias (que projetarão as instalações também desde as fases iniciais de concepção).

3.2 Células fotovoltaicas e painéis termo solares integrados à arquitetura

Estratégias dos painéis solares, seja para aquecimento de água, seja para geração de energia elétrica tem sua aplicação difundida em países de clima temperado, mesmo em condições não tão favoráveis de radiação quando comparados àqueles de clima quente. Na Alemanha, por exemplo, onde foram adotados programas de incentivo, o uso de painéis alcançou resultados excelentes e, atualmente, muitos de seus edifícios geram mais energia do que aquela suficiente a seu próprio consumo.

Diversas são as tipologias de células captadoras de energia solar para o uso em arquitetura, de acordo com rendimento e composição e atualmente, assumiram um papel multifuncional, conforme definição da *Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana* (Bonomo & Frontini 2015) como parte integrante da arquitetura e componente arquitetônico (como vidro, telhas, e outros). Os pesquisadores Scognamiglio & Røstvik (2013), apontam também para a difusão dos sistemas BIPV (Building Integrated Photovoltaics) multifuncionais e ilustraram (Fig. 7) as formas conceituais de integração de fotovoltaicos nas edificações, elaboradas pelo *The Solar Heating and Cooling Programme* (SHC) da *International Energy Agency* (<http://www.iea-shc.org/>). A imagem a) ilustra o caso de painéis usados como um elemento técnico adicionado à edificação, mas não integrado a ela. A imagem b) representa um elemento com dupla função, se aproximando do multifuncional, ou seja, que acumula a função de captador de energia e, neste caso, de um elemento arquitetônico de sombreamento. A imagem c) representa um captador solar como uma estrutura independente, porém com impacto expressivo na forma arquitetônica. Nas imagens d) e e), as superfícies de captação se integram em parte ou totalmente ao invólucro, representando também um elemento multifuncional. Por fim, a imagem f)

representa uma forma arquitetônica projetada para otimizar a captação de energia solar, que não se enquadra em nenhuma das anteriores.

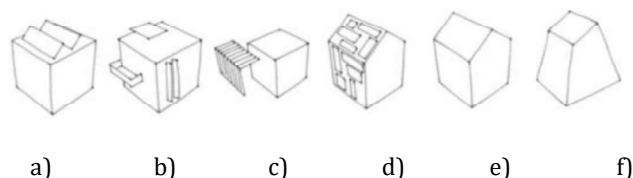


Figura 7. Modos de inserção de superfícies captadoras de energia solar na edificação. Fonte: Scognamiglio e Røstvik, 2013

4. AÇÕES DE INCENTIVO E PESQUISAS RUMO AOS EDIFÍCIOS NZEB

Destacamos algumas ações que vem sendo realizadas, no âmbito da inovação e integração das estratégias e tecnologias descritas. No que se refere ao uso da geotermia para condicionamento do ar interno, programas de pesquisa e incentivo ganharam evidência nos últimos anos. Na Espanha, apesar da investigação do potencial geotérmico ter sido iniciada com a crise do petróleo de 1973, o Programa GEOT-CASA (<http://www.idae.es/>), representou um marco do Plano de Energias Renováveis no país para 2005-2010 e teve como objetivo estender o uso da geotermia em edificações, financiando instalações geotérmicas em edifícios.

Em Portugal, em 2013, foi criada a Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial - PPGS (<http://www.adene.pt/>), uma parceria interinstitucional com missão de desenvolver ações que permitissem o progresso do aproveitamento da geotermia superficial, tanto a nível científico como aplicado, tendo como objetivos divulgar o tema, promover o diálogo na comunidade e auxiliar na elaboração de legislação. Hoje, a plataforma ganhou relevância na área, realiza seminários e seu conteúdo pode ser acessado através da página <http://www.ppgs.pt>. O projeto europeu Ground-Med (<http://www.groundmed.eu/>), e seus diversos projetos associados, reúne Universidades da Europa, institutos de pesquisa, empresas do ramo, associações industriais e consultores, para avaliar o impacto desta tecnologia em regiões junto ao Mediterrâneo. Foram realizados estudos em oito protótipos instalados em sete países (Portugal, França, Romênia, Slovênia, Espanha, Grécia e Itália) e diversas publicações disponíveis no site do projeto apresentam os resultados sobre a redução do consumo de energia pelo uso da geotermia quando comparada aos sistemas convencionais para condicionamento do ar, comprovando sua eficiência em climas mais amenos.

No âmbito da energia solar, destacamos o projeto Construct-PV (www.constructpv.eu), financiado pela Comissão Europeia, que tem como objetivo desenvolver e demonstrar o uso de sistemas fotovoltaicos integrados (BIPV) para as superfícies opacas do invólucro edilício com características personalizáveis, eficientes e a baixo custo. Os sistemas Construct-PV são caracterizados pela multifuncionalidade e, integram promissoras tecnologias seja à escala de células solares que de módulos, resultando-se atrativas seja para o mercado da construção que aquele fotovoltaico. O projeto é baseado em uma abordagem integrada que envolve ativamente os diversos atores do processo e a ele estão correlacionados diversos

outros projetos, dentre os quais destacamos os da IEA *Solar Heating & Cooling Programme* – SHC (<http://www.task41.iea-shc.org/>), de pesquisas sobre uso de energia solar térmica.

O Centro de Competência Suíço BiPV – *Building Integrated Photovoltaics* (<http://www.bipv.ch/>), criado em 2005 dentro do Instituto para a Sustentabilidade Aplicada ao Ambiente Construído (*Institute for Applied Sustainability to the Built Environment* - ISAAC), tem como meta combinar as competências do Departamento de Arquitetura da Universidade de Ciências Aplicadas e Artes do Sul da Suíça (SUPSI) com o do ISAAC oferecendo uma nova e adequada abordagem dos fotovoltaicos na arquitetura. Grupos de pesquisa do SUPSI focam seus estudos em sistemas de invólucros inovativos para edifícios energeticamente eficientes e em invólucros solares ativos (*Building Integrated Photovoltaics*). São dedicados, dentre outros, ao desenvolvimento, análise e experimentação de soluções inovadoras e sustentáveis para sistemas de invólucro edilício multifuncionais, adequados ao projeto de edifícios energeticamente eficientes e sistemas de fachadas multifuncionais que integrem diversas tecnologias.

A combinação entre energia solar e bombas de calor compoem um sistema único é uma tecnologia que se mostra promissora para incrementar ainda mais a eficiência no uso da energia em edifícios e tal investigação vem sendo conduzida pelo SHC da IEA (<http://task44.iea-shc.org/>).

Programas de monitoramento também tem sido postos em prática de modo a gerar um panorama das construções. Um exemplo é o ZEBRA2020 Data Tool (<http://www.zebra-monitoring.enerdata.eu/>), cujo objetivo é criar indicadores e informar sobre os melhores casos na Europa, apresentando as tecnologias recorrentes, materiais e estratégias. Complementando as ações de pesquisa e ferramentas de monitoramento e indicadores, definições, regulamentações e políticas de incentivo têm sido pensadas e postas em prática num movimento global rumo aos NZEB, segundo o BPIE. Como exemplo de sucesso, destacamos a Alemanha, onde o código de construção nacional (EnEV), leis sobre renováveis em edifícios (EEWärmeG) e aquela que regula as tarifas de energias renováveis *on grid* (EEG) coexistem e os investidores precisam cumprir todos os regulamentos relacionados (BPIE, 2011a). Desta forma, segundo o *The Buildings Performance Institute Europe* - BPIE (<http://bpie.eu/>), para apoiar a implementação NZEB seria útil para mesclar os regulamentos para a energia renovável com os regulamentos de construção existentes ou alargar o âmbito dos regulamentos de edifícios existentes através da introdução de requisitos de energia renováveis.

Na esfera acadêmica, destacam-se as pesquisas conduzidas pela Universidade “*La Sapienza*” *di Roma* que, com grande atenção a aspectos experimentais e práticos, usam em edifícios residenciais públicos de baixo custo, condutores enterrados combinados a outras estratégias bioclimáticas, de modo a favorecer condições de conforto térmico do organismo edificado (Battisti & Tucci 2012). Destaca-se também o trabalho realizado pelo arquiteto e pesquisador Pietro Mencagli (2015), sobre o importante papel do invólucro como filtro dinâmico capaz de regular condições ideais de conforto e eficiência, as chamadas fachadas híbridas, com papel passivo (na medida em que otimiza o aproveitamento dos recursos bioclimáticos e é dinâmica de acordo com alterações das condições naturais) e ativo (no momento em que agrega tecnologias para incrementar a prestação energética), aliadas à

criterosa seleção de materiais inovativos - como aqueles de mudança de fase (PCMs) - para atender demandas específicas.

5. CONCLUSÕES

Após um percurso de pesquisas e aplicações de estratégias bioclimáticas e de tecnologias para aproveitamento das energias renováveis de modo individual, hoje sabe-se da importância de fazer uso delas, mas de modo integrado, como medida mais eficaz na busca da redução do consumo energético e vislumbrando edifícios orientados pelo conceito NZEB. A utilização da geotermia superficial, de baixa entalpia, para uso direto para climatização de ambientes mostra resultados positivos, colaborando para a manutenção das condições de conforto térmico com redução do consumo energético e das emissões de poluentes pelas edificações. Em muitos casos, são capazes de substituir por completo os sistemas até hoje considerados convencionais para condicionamento do ar. E, mesmo que não supram integralmente a demanda de condicionamento, podem ser usados compondo sistemas híbridos, reduzindo a dependência dos sistemas artificiais. Os sistemas de tubos enterrados horizontalmente, por dispensarem perfurações a grandes profundidades, o que impacta diretamente nos custos do sistema, parecem merecer maior atenção dos pesquisadores e de parcerias interdisciplinares e interinstitucionais, para que sua aplicação seja cada vez mais viabilizada.

No referente ao aproveitamento da energia solar, busca-se eficiência cada vez mais alta das células e tecnologias novas, onde a promessa é a possibilidade de 100% de integração na arquitetura, dada a atual flexibilidade e capacidade de harmonizar-se com elementos da construção ao mesmo substituí-los, assumindo papel multifuncional. Porém, deve-se atentar para uma prática coerente, pois sempre haverá a necessidade de estudos e cálculos para amparar o rendimento da estratégia, uma vez que orientação e posicionamento de placas e células implicam diretamente da eficiência do sistema.

O papel do invólucro arquitetônico vem progressivamente ganhando destaque na experimentação contemporânea e seu tratamento passa de barreira protetora ao complexo sistema filtro seletivo e polivalente. Neste contexto, vem sendo aprofundadas as experimentações referentes à evolução de fachadas e coberturas e a complexidade dos sistemas e soluções tecnológicas e das suas respectivas prestações ecológicas, bioclimáticas e energéticas, tendo como consequência uma ampliação da fronteira de experimentação tecnológica sobre inovação e desempenho do invólucro: eficiência bioclimática e energética da arquitetura através da "pele" dos edifícios. Por fim, para complementar tais ações e garantir o sucesso deste percurso, é essencial a integração entre os diversos atores envolvidos, desde os profissionais das diversas áreas de conhecimento diretamente envolvidos no projeto, como arquitetos e engenheiros, a indústria, até os organismos que definem as políticas de implementação, regulamentação e incentivo.

REFERÊNCIAS

Battisti, A. & Tucci, F. 2012. *Ambiente e Cultura dell'Abitare*. Innovazione tecnologica e sostenibilità del costruito nella sperimentazione del progetto ambientale. Editrice Librerie Dedalo, Roma, I ed. 2000, II ed. 2012, tot. pp. 248, ISBN: 9788895913391.

- Bonomo, P. & Frontini, F. 2015. *Un'opportunità di innovazione fra tecnologia e architettura*. Il passaggio dei sistemi fotovoltaici da elemento tecnico per la produzione energetica a componente edilizio. Disponibile em: <<http://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/il-fotovoltaico-integrato-come-componente-edilizio-251.html>>. Accesso em: 13/12/2015.
- BPIE - Buildings Performance Institute Europe. 2011. *Europe's buildings under the microscope*. Disponibile em: <http://www.bpie.eu/country_review.html>. Accesso em: 02/06/2016.
- BPIE - Buildings Performance Institute Europe. (2011a). *Principle for Nearly Zero-Energy Buildings: Paving the way for effective implementation of policy requirements*. Disponibile em: <http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR_nZEB-study.pdf>. Accesso em: 02/06/2016.
- EPBD - Energy Performance of Buildings Directive. 2010. Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union.
- EPBD - Energy Performance of Buildings Directive. 2015. Nearly zero energy buildings definitions across Europe.
- European Union. Directive 2010/31/EU, of 19th May 2010. 2010b. Official Journal of the European Union.
- European Union. Directive 2012/27/EU, of 25 October 2012. 2012. Official Journal of the European Union.
- Fanou, S. 2007. Verso la sostenibilità degli edifici e delle città – con schede sull'edilizia residenziale. Tipografia Promoter Italia s.r.l.
- Ground-med. 2012. *Advanced ground source heat pump systems for heating and cooling in Mediterranean climate*. Disponibile em: http://www.groundmed.eu/fileadmin/red/Deliverables/Brochure/Groundmed_Brochure_final.pdf. Accesso em 19/04/2014
- Hausladen, G. et alli. 2012. *Building to suit the climate: a Handbook*. Publisher: Birkhauser.
- Köppen, W. & Geiger, R. 1928. *Klimat der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes.
- Mencagli, P. 2015. *Le mutazioni dell'involucro architettonico*. In: Ingenio n° 35. Disponibile em: <http://www.ingenio-web.it/Articolo/2690/Le_mutazioni_dell_involucro_architettonico.html>. Accesso em 30/07/2016.
- Neto, A. H. & Voltani, E. R. 2014. *Resfriamento e aquecimento geotérmico*. Disponibile em: <<http://www.engenhariaarquitectura.com.br/noticias/883/Resfriamento-e-aquecimento-geotermico.aspx>>. Accesso em: 13/04/2014.
- Nogueira, J. W. L. & Pralon, A. 2014. *Projeto pioneiro em Valência (Espanha) utiliza energia geotérmica para climatizar*. Disponibile em: <<http://ofrioquevendosol.blogspot.com.br/2011/08/luto-na-comunidade-cientifica-de.html#more>>. Accesso em: 17/04/2014.
- Scognamiglio, A. & Røstvik, H. N. 2013. *Photovoltaics and zero energy buildings: a new opportunity and challenge for design*. In: Photovoltaics: Research and applications (2012), v. 21, n. 6, pp. 1319-1336.
- Serra, R. 1999. *Arquitectura y Climas*, GG.
- Tucci, F. 2012. *Atlante dei sistemi tecnologici per l'architettura bioclimatica: Ventilazione naturale negli edifici*. Atlas of Technological Systems for Bioclimatic Architecture. Natural Building Ventilation. Alinea Editrice, Firenze.
- Tucci, F. 2014. *Involucro, Clima, Energia*. Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale della pelle degli edifici. ENVELOPE, CLIMATE, ENERGY. Bioclimatic quality and energy efficiency in architecture in the environmental technological design of building skins. Altralinea, Firenze.