



**LE PLUS FACILE, LE PLUS EFFICACE ET LE
MOINS COÛTEUX**
**SYSTÈMES GÉOTHERMIQUES POUR LA
RÉNOVATION**

2018 - 2023

GEO4CIVHIC

Brochure sur les bâtiments historiques

Auteurs : Consortium GEO4CIVHIC

Coordinatrice du projet : Adriana BERNARDI

www.geo4civhic.eu

Le projet GEO4CIVHIC a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de l'accord de subvention n° 792355.





Toute diffusion de résultats doit mentionner qu'elle ne reflète que l'opinion de l'auteur et que l'Agence n'est pas responsable de l'usage qui peut être fait des informations qu'elle contient.

RÉDACTRICES :

Adriana Bernardi

Doinița - Iuliana Cucuțeanu

L'objectif du projet européen **"Most Easy, Efficient and Low Cost Geothermal Systems for Retrofitting Civil and Historical Buildings"** (GEO4CIVHIC) est d'encourager la rénovation des bâtiments civils et historiques. Des études préliminaires ont été réalisées dans le cadre d'un projet européen antérieur : **"Cheap and Efficient Application of Reliable Ground Source Heat Exchangers and Pumps"** (Cheap-GSHPs). Elles ont démontré l'applicabilité des systèmes géothermiques dans des bâtiments dont la rénovation à l'aide de sources d'énergie renouvelable, en particulier la géothermie, n'avait jamais été envisagée auparavant.



Le bâtiment de la Porte des Anges

GEO4CIVHIC a accordé une attention particulière à l'application des pompes à chaleur géothermiques dans les bâtiments historiques afin de surmonter les contraintes et les réglementations très strictes associées à l'application des technologies renouvelables dans les bâtiments historiques. Cela représente une avancée majeure dans le domaine du chauffage, du refroidissement et des économies d'énergie dans ces bâtiments.

Les recherches menées dans le cadre du projet GEO4CIVHIC avaient différents objectifs, dont certains étaient spécifiquement axés sur les bâtiments historiques. Il s'agissait notamment de répondre aux besoins énergétiques et de trouver des solutions techniques pour accroître l'efficacité énergétique, d'étudier les aspects géologiques des sols européens, d'utiliser des échangeurs de chaleur innovants à haut rendement, d'utiliser de nouveaux équipements de forage, d'innover en matière de pompes à chaleur et d'aborder les aspects législatifs, environnementaux et économiques.



Site de l'étude de cas de Greystones, montrant la façade du bâtiment et l'emplacement des échangeurs de chaleur souterrains dans l'allée à gauche de la maison.

Les systèmes développés dans le cadre de GEO4CIVHIC visent à minimiser la nature invasive des mesures de rénovation en fournissant des solutions de chauffage et de refroidissement à faible impact visuel, et en éliminant tout risque supplémentaire pour le tissu des bâtiments historiques ou les éléments architecturaux. Les solutions déployées ont un impact environnemental très limité, une efficacité opérationnelle améliorée, de faibles émissions sonores et une réduction des coûts d'exploitation. Ces résultats ont été obtenus en tenant compte des principes de conception de base, en surmontant les obstacles, en définissant des méthodologies spécifiques au projet, et en évaluant les réglementations à la base de l'application de solutions géothermiques aux bâtiments historiques.

Les projets GEO4CIVHIC et Cheap-GSHP ont démontré l'intégration des technologies de pompes à chaleur géothermiques pour répondre à la demande de chauffage et de refroidissement des bâtiments historiques. L'intégration de ces solutions offre des avantages évidents en termes de réduction des émissions de CO₂ par rapport aux technologies de chauffage conventionnelles à base de combustibles fossiles qui sont remplacées. Ces solutions constituent également une stratégie unique pour assurer le contrôle de la température ambiante dans des bâtiments qu'il est traditionnellement difficile de rénover.

Dans de nombreux cas, les technologies de rénovation doivent respecter la nature historique des bâtiments, ce qui permet de préserver le caractère du bâtiment avec des interventions minimales. L'avantage des solutions géothermiques GEO4CIVHIC par rapport aux autres technologies d'énergie renouvelable sur le marché est l'impact visuel extrêmement faible que les solutions géothermiques et pompes à chaleur hybrides peuvent offrir.

Ces solutions offrent des options durables à long terme, et efficaces sur le plan énergétique pour améliorer le tissu des bâtiments historiques et la mise en œuvre de mesures de conservation appropriées qui peuvent avoir un impact positif sur la préservation de leur patrimoine.

Les travaux des projets GEO4CIVHIC et Cheap-GSHP ont démontré que l'intégration des pompes à chaleur dans les bâtiments historiques peut être réalisée avec succès. Cependant, des stratégies critiques doivent être adoptées lors de la conception du projet et lors des étapes de mise en œuvre afin d'intégrer avec succès de telles solutions. Un processus de conception détaillé, tenant compte de la structure des bâtiments historiques ainsi que de la demande énergétique spécifique et des exigences de température pour déterminer les charges de chauffage et de refroidissement de ces systèmes, doit être mis en œuvre avant de proposer une solution possible.

Comme le recommande la norme CEN FprEN 16883 dans une approche plus générale, la conception doit adopter une méthodologie holistique qui tient compte non seulement de la demande d'énergie, mais aussi de l'emplacement de ces bâtiments (souvent dans des centres-villes historiques). L'espace disponible détermine le potentiel d'installation d'un collecteur géothermique qui nécessite une approche de conception intégrée et spécifique à l'évaluation des risques du site. Les contraintes d'espace sont associées aux bâtiments voisins ou à d'autres objets archéologiques et patrimoniaux situés à proximité du site du projet ou dans le sous-sol. Une évaluation détaillée du dimensionnement et de l'installation d'une sonde géothermique est nécessaire pour minimiser l'impact sur ces éléments patrimoniaux et le paysage environnant. La fourniture de chauffage et de refroidissement aux bâtiments historiques nécessite l'amélioration des terminaux internes et de la tuyauterie existante pour maximiser l'efficacité. L'emplacement du champ de sondes et de l'équipement de l'installation (pompes à chaleur, réservoirs tampons et d'eau chaude) doit être intégré de manière à préserver le caractère historique des bâtiments en fonction de l'espace disponible pour intégrer ces technologies.



Installation de l'échangeur de chaleur

Dans certains cas, l'utilisation de pompes à chaleur hybrides (air et sol) constitue une solution plus appropriée qui réduit le niveau d'intervention nécessaire tout en maximisant l'efficacité opérationnelle du système. Les parties prenantes au projet doivent donc être soigneusement consultées pour que les projets puissent être menés à bien.

Les phases d'installation des projets géothermiques sont temporaires, mais peuvent causer des nuisances pendant leur exécution. La sélection de la méthode de forage pour compléter le champ géothermique, ainsi que la conception et la réalisation des connexions de surface, doivent tenir compte des caractéristiques physiques du site (zone de travail disponible) et du sous-sol (sols, géologie et eaux souterraines) dans le contexte de leur proximité avec d'autres utilisateurs tels que les bâtiments voisins ou l'infrastructure souterraine dans les environnements urbains denses. La sélection des méthodes de réalisation doit minimiser les perturbations et maximiser l'efficacité opérationnelle. Ces interventions ont été démontrées avec succès par les projets GEO4CIVHIC et Cheap-GSHP, dans lesquels les technologies de PAC Géo ont été intégrées, et ont permis d'améliorer les niveaux de confort des bâtiments tout en préservant durablement leur caractère historique.



Bâtiment "Ca' Rezzonico" à Venise (Italie)

Les pompes à chaleur, ainsi que les sondes géothermiques sont les principales innovations technologiques pour les bâtiments historiques mises en œuvre dans GEO4CIVHIC. Elles représentent un progrès par rapport aux autres technologies de pompes à chaleur géothermiques sur le marché. Le projet a démontré comment le développement et l'installation de pompes à chaleur géothermiques innovantes peuvent être facilement et efficacement intégrés non seulement dans les nouveaux bâtiments, mais aussi dans les bâtiments historiques. Cela a été possible en adaptant la configuration du système, en sélectionnant des réfrigérants spécifiques et en utilisant des échangeurs de chaleur à haute efficacité au cas par cas, conformément aux exigences des différents sites sélectionnés. Cinq pompes à chaleur différentes ont été développées, certaines d'entre elles étant destinées à fournir des températures élevées aux terminaux existants, typiquement présents dans les bâtiments historiques.

L'application de la pompe à chaleur géothermique installée apporte des avantages significatifs dans la décarbonisation du chauffage et de la climatisation dans l'environnement bâti, offrant des solutions à très faible impact visuel dans les centres historiques. Compte tenu du nombre de bâtiments historiques présents dans les villes, et du fait que ces bâtiments sont généralement exclus des objectifs de rénovation des bâtiments en raison de leur nature patrimoniale, les avantages environnementaux possibles de l'application des technologies du projet GEO4CIVHIC pourraient être très importants s'ils pouvaient être appliqués à un grand nombre de bâtiments historiques.

Le processus de conception et d'installation des systèmes géothermiques peu profonds dans le contexte des normes et réglementations nationales et européennes actuelles spécifiques aux différents éléments du système et aux bâtiments historiques a été examiné.

De nombreux bâtiments historiques (également inscrits sur la liste du patrimoine de l'UNESCO) ont été sélectionnés pour servir de démonstrateurs réels ou virtuels. Des recommandations ont été élaborées pour inciter les professionnels et le grand public à envisager l'utilisation de pompes à chaleur dans des bâtiments historiques, architecturaux ou culturels de grande valeur, où des dispositions spéciales sont nécessaires pour assurer le confort intérieur, la performance énergétique et le respect des exigences en matière de conservation.

La démonstration réussie de ces technologies inspire l'utilisation des PAC Géo dans d'autres sites historiques et classés par l'UNESCO, à la fois en Europe et dans le monde, en équilibrant les efforts entre l'importance du patrimoine et la conservation. Les pompes à chaleur géothermiques sont la meilleure solution pour répondre aux exigences de durabilité énergétique tout en préservant l'intégrité et l'authenticité des bâtiments du patrimoine culturel. Le faible impact visuel des éléments souterrains est plus favorable que celui d'autres technologies telles que les pompes à chaleur aérothermiques, les refroidisseurs et les chaudières à combustible fossile. Les solutions de remplacement des pompes à chaleur géothermiques comprennent des éléments externes (unités externes ou cheminées) qui modifient l'aspect de l'enveloppe du bâtiment par rapport à la solution du PAC Géo.



Le complexe universitaire "Ex Ospedale Geriatrico" à Padoue (Italie)

GEO4CIVHIC a fourni des stratégies aux propriétaires de bâtiments, aux autorités et aux professionnels impliqués dans la conservation et la rénovation des bâtiments historiques, afin de faciliter la gestion durable à long terme en intégrant des mesures d'amélioration énergétique, en augmentant l'efficacité énergétique et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, tout en permettant la mise en œuvre de mesures de conservation adéquates.

Une description plus détaillée du travail effectué est présentée dans le Volume 7 du Manuel du projet, qui est consacré à l'application des technologies géothermiques peu profondes dans les bâtiments historiques et du patrimoine mondial. Le Volume 7 peut être téléchargé gratuitement à partir du site web du projet GEO4CIVHIC.

AUTEURS

1. CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (CNR)

CNR - ISAC (coordinateur)

Adriana BERNARDI
Alessandro BORTOLIN
Gianluca CADELANO

CNR - ITC

Sergio BOBBO
Laura FEDELE
Stefano ROSSI
Mauro SCATTOLINI

2. UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PADOVA (UNIPD)

Département d'ingénierie industrielle

Michele DE CARLI
Angelo ZARRELLA
Giuseppe EMMI
Laura CARNIELETTO
Samantha GRACI
Davide QUAGGIOTTO

Département des géosciences Unité DG

Antonio GALGARO
Eloisa DI SIPIO
Giorgia DALLA SANTA
Alberto CARRERA

3 UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA (UPV)

Javier F. URCHUEGUÍA
Borja BADENES
Hossein JAVADI
Miguel Á. MATEO

4. R.E.D. SRL RESEARCH AND ENVIRONMENTAL DEVICES (RED)

Luc POCKELÉ
Giulia MEZZASALMA
Silvia CONTINI
Mattia CHINELLO
Nicola MUTINELLI

5. TERRA GEOSERV LIMITED (GEOSERV)

Riccardo PASQUALI
Aisling CUNNINGHAM

6. GALLETTI BELGIQUE / HIREF (GALLETTI)

Fabio POLETTO
Andrea TARABOTTI
Enrico PACCHIN

7. FUNDACION TECNALIA RESEARCH & INNOVATION (TECNALIA)

Miguel Ángel ANTÓN
Amaia CASTELRUIZ
Sarah NOYÉ
Beatriz SÁNCHEZ
Arantza LÓPEZ

8. TERRA INFRASTRUCTURE (ANCIENNEMENT THYSSENKRUPP INFRASTRUCTURE)

Arno ROMANOWSKI
Franziska HELBIG

9. BUREAU REGIONAL DE L'UNESCO POUR LA SCIENCE ET LA CULTURE EN EUROPE

Jonathan BAKER
Francesca BAMPA
Matteo ROSATI
Iuliia KOZLOVA
Francesco LIPPARINI
Anh Thi Ngoc NGUYEN
Akémi LAMARCHE VADEL

10. FRIEDRICH-ALEXANDERUNIVERSITAET ERLANGEN NUERNBERG (FAU)

David BERTERMANN
Oliver SUFT
Moritz FAUDE
Johannes MULLER

11. SOCIETATEA ROMANA GEOEXCHANGE / ROMANIAN GEOEXCHANGE SOCIETY (SRG - RGS)

Robert GAVRILIUC
Doinița- Iuliana CUCUȚEANU
Tiberiu CATALINA
Marian ALEXANDRU

12. CENTRE FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES AND SAVING FONDATION (CRES)

Dimitrios MENDRINOS
Constantine KARYTSAS
Ioannis CHOROPANITIS
Ioannis CHALDEZOS
Spyridon KARYTSAS

13. HYDRA SRL (HYDRA)

Davide RIGHINI
Elisabetta GARDENGHI

14. UBEG DR ERICH MANDS U MARC SAUER GBR (UBEG)

Burkhard SANNER
Erich MANDS
Marc SAUER

15. GEO-GREEN SPRL (GEO-GREEN)

Jacques VERCRUYSSÉ

16. PIETRE EDIL SRL (PIETRE)

Elena Loredana FODOR
Leonardo ROSSI
Alexandru TĂNASE

17. SOLINTEL M&P SL (SOLINTEL)

Dery TORRES
Hugo GRASSET
Miguel Angel GOMEZ

18. DIN L-ART HELWA (DLH)

Luciano MULE'STAGNO
Daniel MICALLEF
Ingrid GALEA
Davide POLETTO
Daniele SFERRA
Manuel SCARPA

19. SCUOLA UNIVERSITARIA PROFESSIONALE DELLA SVIZZERA ITALIANA (SUPSI)

Marco BELLARDI
Linda SOMA
Sebastian PERA
Rodolfo PEREGO

PARTENAIRES



INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES AND CLIMATE
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (CNR – ISAC)
www.isac.cnr.it



INSTITUTE OF CONSTRUCTION
TECHNOLOGIES NATIONAL
RESEARCH COUNCIL (CNR-ITC)
www.itc.cnr.it



UNIVERSITA' DEGLI
STUDI DI PADOVA (UNIPD)
www.unipd.it



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
www.upv.es



RESEARCH AND
ENVIRONMENTAL
DEVICES SRL (RED)
www.red-srl.com



TERRA INFRASTRUCTURE
(FORMER THYSSENKRUPP
INFRASTRUCTURE)
www.terra-infrastructure.com



TERRA GEOSERV LIMITED
(GEOSERV)
www.geoservsolutions.com



GALLETTI BELGIUM/
HIREF (GALLETTI)
www.galletti.be/hiref.it



MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE
FUNDACION TECNALIA
RESEARCH & INNOVATION
www.tecnalia.com



GEO GREEN SPRL
(GEO-GREEN)
www.geo-green.be



UNESCO REGIONAL BUREAU
FOR SCIENCE AND CULTURE
IN EUROPE
www.unesco.org/venice



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

FRIEDRICH-ALEXANDER-
UNIVERSITÄT ERLANGEN
NURNBERG (FAU)
www.uni-erlangen.de



SOCIETATEA ROMANA
GEOEXCHANGE /ROMANIAN
GEOEXCHANGE SOCIETY
(SRG - RGS)
www.geoexchange.ro



CENTRE FOR RENEWABLE
ENERGY SOURCES
AND SAVING FUNDATION
(CRES)
www.cres.gr



HYDRA SRL
(HYDRA)
www.hydrahammer.it



UBEG DR ERICH MANDS
U MARC SAUER
GBR (UBEG)
www.ubeg.de

Scuola universitaria professionale
della Svizzera italiana



SCUOLA UNIVERSITARIA
PROFESSIONALE
DELLA SVIZZERA ITALIANA
(SUPSI)
www.supsi.ch



PIETRE EDIL SRL
(PIETRE EDIL)
www.pietre-edil.ro



SOLINTEL M&P SL
(SOLINTEL)
www.solintel.eu



Dín I-Art Helwa
DIN L-ART HELWA (DLH)
www.dinlarthelwa.org