

Article

Assurer la durabilité dans le secteur de l'environnement bâti et de la construction du nord-est italien : un cadre de recherche conceptuel

Élisa Zatta * , Massimiliano Condotta, Rosaria Revellini et  Valeria Tatano

Département d'architecture et d'arts, Université Iuav de Venise, Santa Croce 191, 30135 Venise, Italie ;
massimiliano.condotta@iuav.it (MC); rosaria.revellini@iuav.it (RR); valeria.tatano@iuav.it (VT)

* Correspondance : elisa.zatta@iuav.it

Résumé : L'objectif principal de cette recherche est de décrire une enquête multidisciplinaire faisant partie d'un projet de recherche en cours. La contribution se concentre sur l'identification et la sélection de technologies innovantes et de méthodologies opérationnelles capables de favoriser l'innovation durable et la résilience du territoire italien du NE en relevant quatre défis : la transition énergétique, les défis environnementaux, l'adaptation au changement climatique et la numérisation. L'enquête a conçu un cadre de recherche conceptuel original visant à identifier les solutions possibles et à établir un lien entre elles et les défis, en considérant les actions, le soutien technologique et méthodologique et, indirectement, les objectifs politiques européens et mondiaux qu'elles contribuent à atteindre. Les résultats de la recherche sont : (i) une définition des quatre défis à la lumière de l'environnement bâti et du secteur de la construction ; (ii) le schéma du cadre conceptuel de recherche en tant qu'instrument reproductible ; (iii) sa contextualisation dans le cadre de la recherche ; (iv) une liste préliminaire de technologies et de méthodologies soutenant l'innovation durable dans le contexte territorial donné ; et (v) un classement des solutions les plus prometteuses en fonction de leur efficacité et de leur potentiel d'application. Les résultats montrent comment, dans le contexte italien du NE, les solutions les plus efficaces pour assurer la durabilité et la résilience sont celles qui opèrent dans l'environnement bâti en préservant les ressources bâties, principalement en s'attaquant à l'enveloppe et à la structure du bâtiment.



Citation : Zatta, E. ; Condotta, M. ;
Revellini, R. ; Tatano, V. Assurer la
durabilité dans le nord-est italien construit
Environnement et Construction

Secteur : Un cadre de recherche
conceptuel. Bâtiments 2023, 13, 2920.
[https://doi.org/10.3390/
buildings13122920](https://doi.org/10.3390/buildings13122920)

Rédacteur académique : Adrian Pitts

Reçu : 29 septembre 2023
Révisé : 17 novembre 2023

Accepté : 20 novembre 2023
Publié : 23 novembre 2023



Copyright : © 2023 par les auteurs.
Licencié MDPI, Bâle, Suisse.
Cet article est un article en libre accès
distribué selon les termes et
conditions des Creative Commons
Licence d'attribution (CC BY) ([https://
creativecommons.org/licenses/by/
4.0/](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Mots-clés : technologies innovantes ; méthodologies opérationnelles ; transition énergétique ; les défis
environnementaux ; changement climatique ; la numérisation ; environnement bâti durable

1. Introduction

Cette enquête a été menée dans le contexte « Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem » (iNEST), un projet de recherche financé par NextGenEU à travers la Facilité nationale italienne pour la reprise et la résilience (NRRF). Le projet global, qui s'étend sur trois ans (2023-2026), est structuré en neuf domaines principaux appelés « Spokes », chacun d'entre eux se concentrant sur un sujet spécifique et impliquant un groupe de recherche multidisciplinaire différent.

La contribution illustre une partie des enquêtes de première année menées dans le cadre du Spoke 04, « Ville, architecture et design durable ». L'objectif général du Rayon est d'esquisser un plan stratégique pour le développement des secteurs de la construction et du design durable dans le nord-est de l'Italie, un territoire fragile et unique dans lequel l'engagement éthique du design concerne nécessairement le soin et l'entretien des un paysage articulé et un patrimoine architectural historique étendu au sein d'un territoire caractérisé par des risques environnementaux importants. Étant donné que les activités triennales de Spoke 04 sont organisées en 15 thèmes de recherche (RT) différents, l'enquête illustrée – développée au sein de l'un d'entre eux – doit être comprise comme un élément d'un cadre complexe, non exhaustif en soi, mais plutôt un processus continu. chemin interdépendant des autres, tant en termes d'orientation que de portée.

L'article décrit les travaux réalisés en 2023 au sein de RT 1 – tâche 3 (RT 1.3) par un groupe de recherche impliquant trois institutions. L'objectif du RT 1.3, tel que précisé dans le programme de recherche iNEST, est d'identifier des technologies et des méthodologies opérationnelles innovantes.

capable de favoriser l'évolution durable de l'environnement bâti et du secteur de la construction dans le nord-est de l'Italie. La tâche globale nécessite que les solutions les plus prometteuses – préalablement sélectionnées sur la base de la simplicité de la réplique, de l'efficacité dans l'augmentation de la durabilité et de l'efficacité dans les applications à grande échelle – soient ensuite examinées, décrivant les chaînes d'approvisionnement et les futurs modèles de reproductibilité. Il est à noter que cette dernière activité n'est ni incluse ni discutée dans cette contribution, qui illustre le travail de recherche jusqu'aux processus et résultats d'identification et d'évaluation.

Les technologies et méthodologies (T/M) à identifier, en plus de viser à réaliser la transition attendue en fusionnant durabilité et innovation, devraient spécifiquement agir dans quatre domaines thématiques clés reconnus comme stratégiques par le programme de recherche Spoke 04 : •

Transition énergétique (ET) ; • Défis environnementaux (CE) ; • Adaptation au changement climatique (ACC) ; • Numérisation (D).

Au cours de l'enquête, les quatre domaines thématiques ont été définis comme des « défis » pour deux raisons : d'une part, en raison de leur pertinence actuelle et future dans les contextes de l'environnement bâti et de la construction, et, d'autre part, en raison de leurs impacts sur l'ensemble de la société, car ils jouent un rôle complexe et interdépendant dans la réalisation d'une durabilité globale. Ainsi, la recherche RT 1.3 vise à soutenir la transformation de l'environnement bâti et du secteur du bâtiment en identifiant des solutions, à savoir les technologies et les méthodologies, qui devraient faire face aux pressions générées par les bâtiments et les infrastructures tout au long de leur cycle de vie, tout en augmentant la durabilité et résilience du territoire. En particulier, l'enquête s'est concentrée sur les solutions possibles à mettre en œuvre à l'échelle architecturale et dans la gestion des espaces urbains, l'échelle territoriale ayant été examinée en profondeur par un autre RT.

La région du Nord-Est italien, le contexte de la recherche, présente un parc immobilier diffus et mixte allant d'exemples de patrimoine historique remarquables à des bâtiments industriels abandonnés et des logements sous-utilisés, tels que des zones confrontées à des processus de rétrécissement. Cette variété distingue également la répartition géographique des nombreuses agglomérations et leurs différents tissus urbains, englobant des villes médiévales compactes, des villes de la Renaissance, des banlieues de l'après-Seconde Guerre mondiale, des villages ruraux dispersés, des avant-postes de montagne et un réseau omniprésent de PME (petites et moyennes entreprises). entreprises de taille moyenne). Bien que le contexte hétérogène décrit suggère un secteur du bâtiment assez dynamique, la construction et la pratique dans le contexte territorial révèlent une lente tendance à l'innovation [1]. Malgré la récente augmentation des activités de rénovation et de rénovation encouragée par les incitations post-pandémiques – qui sera bientôt terminée une fois le bonus économique épuisé – le secteur peine encore à retrouver l'indéniable pertinence qui le distinguait jusque dans les années 2000. De plus, à l'exclusion des niches de marché, la construction s'appuie encore sur un savoir-faire technique consolidé et diffus qui semble intégrer trop lentement les modèles durables et écologiques pour encourager une tra Au contraire, l'indispensable adaptation au changement climatique nécessite une transformation profonde de l'environnement bâti du Nord-Est, compte tenu notamment des vulnérabilités structurelles du territoire [1] – instabilité hydrogéologique, risque sismique, appauvrissement des sols, niveau de la mer et coin salin. augmenter.

Les trajectoires de recherche actuelles traitant de la durabilité et de la résilience de l'environnement bâti sont principalement basées sur un contexte de référence comprenant un ensemble d'indicateurs et de catégories, appartenant soit à des cadres d'évaluation établis [2-4], soit à des cadres institutionnels [4-6]. La plupart d'entre eux partagent la portée et le but de leur référence, proposant des améliorations possibles et de nouvelles interprétations, tandis que d'autres s'appuient sur ces bases pour fournir des suggestions opérationnelles [7]. Le sujet est généralement abordé à l'échelle urbaine [2,3,5,7], tandis que les investigations à l'échelle du bâtiment [6,8] ou impliquant plusieurs échelles [4,9] sont moins fréquentes. Souvent, un certain nombre de principes [3,8] ou de domaines d'intervention [7] sont identifiés, à partir de l'analyse desquels sont tirés des catégories ou des paramètres spécifiques, significatifs pour la transition durable de l'environnement bâti [2,3,10]. Par ailleurs, compte tenu de l'étendue du sujet, plusieurs produits de recherche délimitent précisément un périmètre en proposant des définitions issues de la littér

clarifiant leur portée spécifique [2,3,5,8,9,11]. Ces contributions enrichissent fortement le cadre théorique en amont sur lequel s'enracinent les principes de durabilité et de résilience de l'environnement bâti.

Cependant, les transitions durables de l'environnement bâti et du secteur de la construction sont rarement examinées conjointement. De plus, comme le souligne [7], les cadres soutenant la conception durable en identifiant les méthodes et les solutions à mettre en œuvre font défaut, et il existe un besoin d'instruments capables de relier les éléments et composants spécifiques de contextes complexes [12] tels que l'environnement bâti lui-même. Dans ce scénario, les nombreux avantages induits par l'adoption d'une approche transdisciplinaire sont reconnus, notamment dans les domaines de l'architecture et de l'urbanisme [11] et pour surmonter le cloisonnement des connaissances scientifiques. Ceci est particulièrement crucial face aux questions environnementales contemporaines telles que le changement climatique, l'utilisation des terres et la gestion appropriée des ressources [13,14]. Une approche transdisciplinaire nécessite une collaboration totale et continue pendant toutes les phases de l'enquête [11], car elle repose fortement sur la co-création de connaissances pour aborder des thèmes complexes et interconnectés [5,15] tels que ceux relatifs à la durabilité [16] et la résilience [17].

Le contexte illustré démontre la nécessité d'adopter une perspective transversale et une approche cohérente avec un champ d'application aussi complexe pour les solutions à identifier. Compte tenu de la nécessité d'équilibrer les objectifs d'innovation et de préservation au sein de l'enquête, il était clair que les technologies et les méthodologies devaient aborder non seulement les futures stratégies, techniques, matériaux et dispositifs de construction, mais aussi la récupération, la préservation et l'amélioration des bâtiments et des établissements existants. aussi. Cela nécessite également de prêter attention aux aspects architecturaux et paysagers, en prenant soin de l'environnement bâti en tenant compte de son contexte naturel et environnemental. Les solutions à identifier doivent donc être cohérentes avec un stock hétérogène en termes de bâtiments et de tissus urbains de constructions passées et futures [18]. En ce sens, leur caractère innovant pourrait concerner non seulement les technologies et les méthodologies elles-mêmes – telles que les techniques et les approches conçues spécifiquement pour les nouvelles constructions – mais aussi dans une mise en œuvre originale des technologies conventionnelles ou dans un objectif non conventionnel. Dans ce contexte, l'enquête a été entreprise par un groupe de recherche multidisciplinaire, qui a impliqué un total de 23 chercheurs, coordonnés par les auteurs, experts dans plusieurs domaines (conception architecturale, technologie architecturale, physique du bâtiment, conservation du patrimoine, mécanique des structures, dessin et représentation).

Compte tenu à la fois des particularités du domaine d'application et de l'approche interdisciplinaire adoptée, la recherche présente deux degrés différents de répliquabilité. En effet, à la lumière du contexte territorial et de la portée de l'enquête, les solutions identifiées peuvent être pertinentes dans d'autres contextes d'Europe centrale (i), tandis que la méthodologie multidisciplinaire développée peut être pertinente à l'échelle mondiale et pour différentes disciplines également.

La contribution est structurée comme suit. La section 2 illustre le matériel et les méthodes de l'enquête, en détaillant les trois phases au cours desquelles elle a été organisée ; La section 3 décrit les résultats, clarifiant leur pertinence tant en termes de méthodologie développée que de contextualisation territoriale ; La section 4 traite des résultats de la recherche ; et la section 5 tire les conclusions.

2. Matériels et méthodes

Pour mener à bien l'enquête, il était nécessaire de définir clairement une portée et un cadre structuré dans lequel s'inscrire la recherche. On a supposé que, pour atteindre l'objectif de la recherche, des résultats intermédiaires étaient nécessaires, qui pouvaient être considérés comme des résultats en soi. Pour cette raison, la tâche a été structurée en trois phases principales

(Figure 1) : • Une première phase, clarifiant le périmètre de l'enquête en fixant un périmètre définissant les domaines thématiques mis en avant (transition énergétique, défis environnementaux, adaptation au changement climatique). , numérisation - donc les quatre défis) dans le domaine d'application donné (environnement bâti et secteur de la construction). Cette son

Pour mener à bien l'enquête, il était nécessaire de définir clairement une portée et un cadre structuré dans lequel s'inscrire la recherche. On a supposé que, pour atteindre l'objectif de la recherche, des résultats intermédiaires étaient nécessaires, qui pouvaient être considérés comme des résultats en soi. Pour cette raison, la tâche a été structurée en trois phases principales (Figure 1) :

- Une première phase, clarifiant le périmètre de l'investigation en traçant un périmètre définissant les domaines thématiques mis en avant (transition énergétique, défis environnementaux, adaptation au changement climatique, digitalisation - donc les quatre défis) au sein du champ d'application donné (construit secteur de l'environnement et de la construction). Ce résultat est également considéré comme un résultat car il définit une perspective architecturale qui pourrait soutenir davantage (considéré également comme un résultat car il définit une perspective architecturale qui pourrait soutenir des recherches plus approfondies sur le sujet).
- Une deuxième phase, l'élaboration d'un cadre de recherche conceptuel permettant de dessiner un lien clair entre l'objectif (identification de méthodologies opérationnelles de technologies innovantes et des méthodologies opérationnelles augmentant la durabilité et la résilience du territoire et la portée de l'enquête). Ce résultat représente également un résultat, dans la mesure où la structure du cadre conceptuel développée peut être utilisée dans d'autres domaines d'études.
- Une troisième phase, réalisant l'investigation sur la base des résultats des phases un et deux, qui a été elle-même organisée en trois étapes (i) l'identification des technologies et des méthodologies, (ii) l'examen des résultats préliminaires, et la mise au point du cadre conceptuel et (iii) l'évaluation, et le classement des technologies et méthodologies.

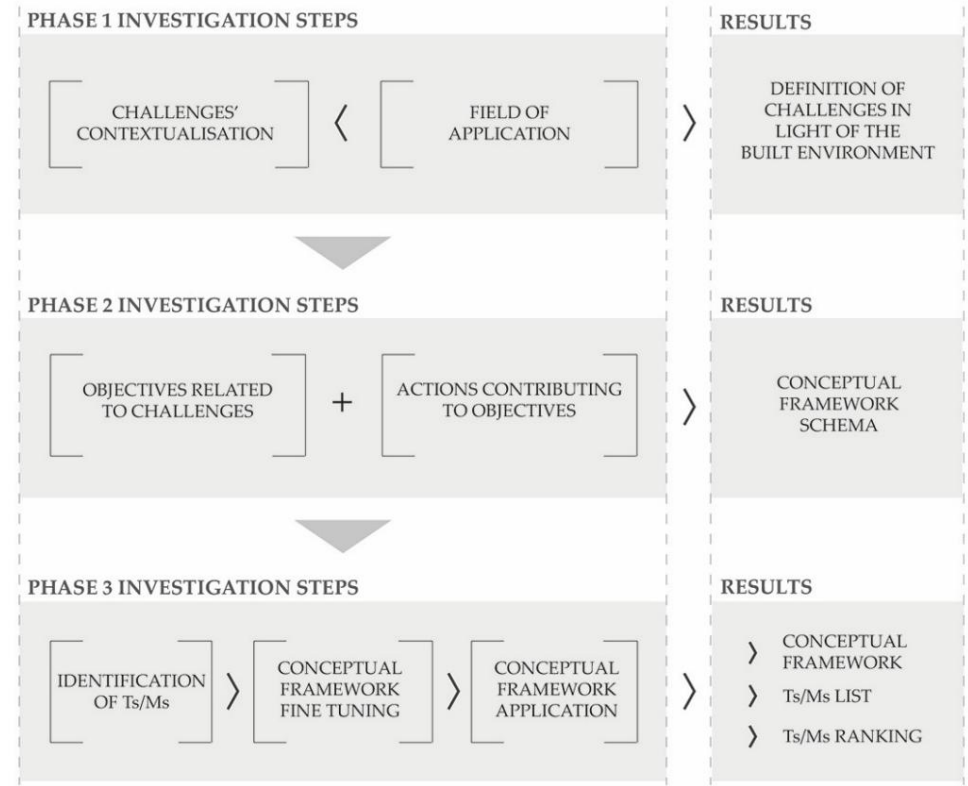


Figure 1. Structure de l'enquête.

Les matériaux et méthodes des trois phases sont décrits comme suit.

La première phase visait à mettre en place un périmètre contextualisant les quatre enjeux d'application spécifique. A cet effet, une définition partagée pour chacun des domaines thématiques a été proposée, s'appuyant sur les politiques et réglementations mondiales et européennes et les rapports scientifiques. Cela a permis de clarifier les quatre défis en termes de limites de la recherche, la contribution à la durabilité et les principaux objectifs politiques et les processus à mettre en œuvre dans ce cadre émergent – à terme comprendre le sens et les objectifs de chaque défi dans l'environnement bâti et contextes du secteur du bâtiment. Cette phase a reconnu dès le début le sous-jacent relation entre les défis, car, dans le cadre de ce projet, la numérisation ne doit pas être considérée comme un défi en soi, mais plutôt comme un catalyseur transversal, qui pourrait améliorer l'efficacité dans la transition énergétique, la réponse aux défis environnementaux et adaptation au changement climatique. Par conséquent, et conformément à la perspective illustrée dans le introduction, il a été convenu que l'innovation peut être encouragée sans nécessairement nécessiter le recours aux technologies numériques également, puisque les technologies et/ou méthodologies pourraient

être innovant en raison de leurs objectifs non conventionnels et de leurs nouvelles approches de mise en œuvre ou des domaines d'application différents de celui pour lequel ils ont été initialement développés. Dans ce sens, aucun biais n'a influencé leur identification. Le tableau 1 répertorie les références utilisées pour créer les définitions des quatre défis.

Tableau 1. Références utilisées pour construire la définition des quatre défis, classés selon leur apparition dans les définitions elles-mêmes.

Défi	Les références
Transition Énergétique	CE, 2019a [19] ; PE, 2022 [20] ; PNUE, 2023 [21] ; CE, 2019b [22] ; CE, 2020a [23] ; CE, 2020b [24] ; CE, 2019c [25] ; PE, 2021 [26]
Défis environnementaux	GIEC, 2022 [27] ; EEE, 2019 [28] ; PNUE, 2022 [29] ; PNUE, 2023 [21] ; CE, 2019a [19] ; CE, 2020c [30] ; CE, 2020d [31] ; PE, 2022 [20]
Adaptation CC	GIEC, 2014 [32] ; CCNUCC [33] ; ONU, 1992 [34] ; GIEC, 2022 [27] ; PE, 2022 [20] ; CE, 2019b [22] ; CE 2021 [35] ; CE, 2023a [36]
Numérisation	CA, 2023 [37] ; COD, 2023 [38] ; OOD, 2023 [39] ; CECE, 2019 [40] ; CEU, 2021 [41] ; ECSO, 2021 [42] ; CE, 2023b [43] ; EURACTIV, 2019 [44] ; CE, 2019d [45] ; CE, 2023c [46]

La deuxième phase consistait à élaborer le cadre conceptuel de la recherche, un processus deux objectifs différents. D'une part, il entendait établir un lien clair et univoque entre les technologies et méthodologies à identifier et les quatre domaines thématiques, garantir la cohérence des résultats avec le périmètre de l'enquête. De l'autre, c'est visant à définir un outil à utiliser dans la phase trois, pour évaluer la contribution d'un seul la technologie ou la méthodologie peuvent offrir à chaque défi, également en utilisant éventuellement processus numériques. Pour ces raisons, le cadre de recherche conceptuel visait à prendre en compte le caractère transversal du défi de la numérisation.

Premièrement, il était nécessaire d'identifier un certain nombre d'objectifs directement liés aux défis (numérisation exclue). Pour franchir cette étape, plusieurs organisations mondiales, européennes et Les politiques, stratégies et rapports italiens, tant institutionnels que élaborés par des organismes publics, ont été examinés sous l'angle de la transition durable de l'environnement bâti et secteur de construction. Il a été choisi d'utiliser des sources différentes de celles sur lesquelles le quatre définitions ont été fondées, ces dernières étant principalement axées sur le niveau européen et liés à une approche normative, tandis que les objectifs devraient révéler une approche plus globale et stratégique, en tenant également compte du contexte italien. Le tableau 2 répertorie les objectifs identifiées et les politiques ou stratégies associées.

Tableau 2. Politiques et stratégies examinées pour identifier les objectifs relatifs à chaque défi.

Source	Transition Énergétique	Défis environnementaux	Adaptation à CC
Priorités du PNUE [21]	-	• pollution chimique • nature	• changement climatique
8e PAE de l'UE [20]	• décarbonation	• non toxique, circulaire et économie régénératrice • zéro pollution • protection, durable - utilisation, restauration des écosystèmes	• réduire la vulnérabilité et renforcer la résilience et adaptation à CC
Adaptation de la stratégie de l'UE à CC [35]	-	-	• atténuation des effets CC • réduction des risques de catastrophe • améliorer la résilience • assurer la livraison de service d'écosystème

Tableau 2. Suite

Source	Transition Énergétique	Défis environnementaux	Adaptation à CC
Nationalité italienne Récupération et résilience Facilité (NRRF), avec référence aux « tâches » (« mission », M) et spécifique connexe "Composants" (« composant », C) [47]	• augmentation de l'énergie photovoltaïque production • les communautés énergétiques et prosommateurs (M2C1) • augmenter l'énergie des bâtiments efficacité et sécurité sismique (M2C3) • mobilité durable (M2C2)	• efficace et circulaire gestion des déchets (également par traçabilité) (M2C1) • un approvisionnement sûr et utilisation durable de l'eau ressources (M2C4) • sauvegarder la biodiversité et qualité de l'air (M2C4) • augmenter les espaces verts dans contextes urbains (M2C4) • aborder les questions hydrogéologiques vulnérabilités du territoire (M2C4) • restauration d'objets historiques parcs et jardins (M1C3) • renforcement sismique sécurité des religieux patrimoine (M1C3) • Protection et valorisation de l'architecture rurale et paysages (M1C3)	• accroître la résilience des réseaux de distribution d'énergie et infrastructures (M2C2) • soutenir la surveillance et systèmes provisoires (M2C4)
	• production, utilisation et distribution (M2C2) • développer le chauffage urbain systèmes (M2C3) • intelligent, résilient et flexible réseaux basés sur les énergies renouvelables (M2C2)	• patrimoine culturel numérisé, inclusif et économe en énergie et infrastructures (M1C3)	
	• abordable, fiable, moderne services énergétiques (7.1)	• urbanisation inclusive et durable et capacité de établissement humain participatif, intégré et durable planification et gestion (11.3)	
	• augmenter la part des énergies renouvelables énergie (7.2) • améliorer l'énergie efficacité 7.3)	• renforcer la résilience et la capacité d'adaptation pour aléas liés au climat et catastrophes naturelles dans tous les domaines pays (13.1) • gérer et protéger les écosystèmes marins et côtiers pour éviter les impacts négatifs importants, notamment en renforçant leur résilience, et agir pour leur restauration (14.2)	
ODD du Programme 2030 objectifs, en référence à les cibles spécifiques [48]	• Développer des infrastructures de qualité, fiables, durables et résilientes [. . .] pour soutenir l'économie développement et bien-être humain, en mettant l'accent sur un accès abordable et équitable pour tous (9.1)		
		• durable infrastructures et industries : utilisation efficace des ressources, propre technologies et processus (9.4)	• Traiter les impacts de catastrophes sur les personnes et l'économie, y compris catastrophes liées à l'eau, avec un se concentrer sur les personnes vulnérables situations (11.5)
		• protéger/restaurer écosystèmes liés à l'eau (6.6)	
		• qualité de l'eau, réduire pollution [de l'eau], augmentation recyclage [de l'eau] et réutilisation (6.3)	
		• protéger/sauvegarder le culturel et naturel du monde patrimoine (11.4)	

ODD du Programme 2030
objectifs, en référence à
les cibles spécifiques [48]

The diagram illustrates a flow from T/Ms to Actions, then to Objectives, and finally to Outcomes. On the left, a vertical list of T/Ms includes T/M 1, T/M 2, T/M 3, T/M 4, T/M 5, and T/M N. T/M 3 is highlighted with a dark background. Arrows point from each T/M to a corresponding Action in the middle: ACTION 1, ACTION 2, ACTION 3, ACTION 4, ACTION 5, and ACTION N. ACTION 2 is highlighted with a dark background. Arrows then point from each Action to a corresponding Objective on the right: OBJECTIVE 1, OBJECTIVE 2, OBJECTIVE 3, and OBJECTIVE N. OBJECTIVE 3 is highlighted with a dark background. Finally, arrows point from the Objectives to three outcome boxes on the far right: ENERGY TRANSITION, ENVIRONMENTAL CHALLENGES, and CLIMATE CHANGE ADAPTATION. The first two outcome boxes are light gray, while the last one is dark gray with green text.

Figure 2. Représentation graphique des connexions linéaires entre les technologies méthodologiques et les défis, en définissant les actions et les résultats. Par exemple, la figure met en évidence la figure met en évidence les liens entre T/M 3 et les défis, à travers des actions et des objectifs.

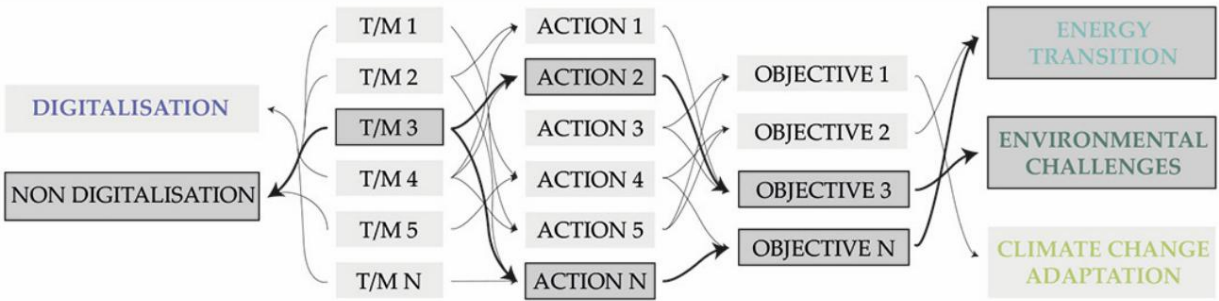


Figure 3. Représentation graphique des liens entre technologies et méthodologies et le défi numérique.
Figure 3. Représentation graphique des liens entre technologies et méthodologies et le défi numérique.

Pour imaginer une relation plus définie entre les solutions identifiées et la portée, Pour visualiser une relation plus définie entre les solutions identifiées et la portée, une gamme de cibles a été considérée pour définir leurs applications potentielles au sein d'une gamme de cibles à envisager pour définir leurs applications potentielles à l'environnement bâti : espace urbain, espace intérieur, environnement bâti et enveloppe du bâtiment. Figure 4 illustre les rôles des quatre cibles auxquelles les technologies et méthodologies peuvent être appliquées dans la matrice conceptuelle.

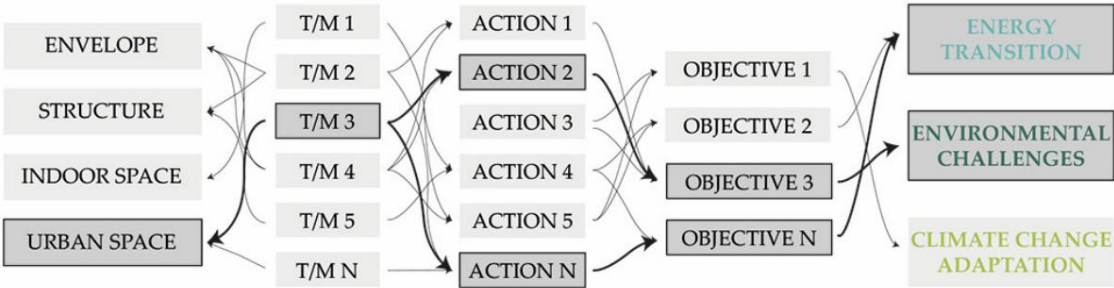


Figure 4. Représentation graphique des liens entre technologies et méthodologies et les quatre cibles.
Figure 4. Représentation graphique des liens entre technologies et méthodologies et les quatre cibles.

Le cadre conceptuel a ensuite été transposé dans un tableau en ligne, partagé avec le groupe de recherche, destiné à collecter les technologies et méthodologies en entrée, et organisé pour collecter les données suivantes pour chacune d'elles : cible(s) à laquelle elles peuvent être appliquées ; action soutenue par la technologie ; objectifs à atteindre (un ou plusieurs) par l'action ; liens avec les défis rencontrés (transition énergétique, adaptation au CC) ; connexion à la numérisation (si la solution la plus moderne utilise déjà des processus/appareils numériques) ; et une brève description, des références et des notes. La structure et le fonctionnement du tableau sont illustrés dans le tableau 3. Bien qu'il s'agisse d'un instrument conçu pour transposer efficacement le cadre conceptuel dans un ensemble de données cohérent et organisé, en tant que méthodologie originale, le tableau de technologies ou méthodologies entrées en remplissant le tableau partagé. La structure et le fonctionnement du tableau sont illustrés dans le tableau 3. Bien qu'il s'agisse d'un instrument conçu pour transposer efficacement le cadre conceptuel dans un ensemble de données cohérent et organisé, en tant que méthodologie originale, le tableau de technologies ou méthodologies entrées en remplissant le tableau partagé. La structure et le fonctionnement du tableau sont illustrés dans le tableau 3.

Solution	Cible ESIU	(un)	Défis Numérique				Description	Références	Remarques
			Actions	Objectifs	Défi Digital	Défi Numérique			
T/M 1 (b)	x	x	action (b)	obj. 1	x	x	...	...	...
Solution	Cible (a)		action (c)	obj. 2			...	...	...
T/M2	xxx		action (a)	obj. 3			...	...	...
T/M 1 (b)	x	x	action (a)	obj. 1	x	x	...	...	...
T/M 1 (b)	x	x	action (b)	obj. 2			...	...	...
T/M2	xxx		action (c)	obj. 3			...	...	...

Bien qu'étant un instrument conçu pour transposer efficacement le cadre conceptuel dans un ensemble de données cohérent et organisé, en tant que méthodologie originale, la structure du tableur représente également un premier résultat de l'enquête détaillée dans la section 3.2.

La troisième phase a vu l'équipe de recherche mener l'enquête, une tâche comprenant trois étapes successives : (i) identifier les technologies innovantes et les méthodologies opérationnelles capables d'augmenter la durabilité de l'environnement bâti et du secteur de la construction sur le territoire italien du NE en fonction de leur répliquabilité, efficacité durable et efficience dans les applications à grande échelle ; (ii) examen des résultats préliminaires et ajustements du contenu ; et (iii) l'évaluation et le classement des solutions en fonction de leur contribution potentielle pour relever les trois défis.

Lors de l'étape (i), les membres de l'équipe de recherche, individuellement ou répartis en groupes, ont démarré la recherche, en s'appuyant sur la littérature et sur l'expertise spécifique de chaque chercheur, pour remplir le tableur. Bien que chaque contribution soit entièrement ou principalement issue d'une des disciplines impliquées, en la contextualisant au sein du cours actions-objectifs-défis, il a été possible de souligner son caractère transversal, tant dans sa contribution à un ou plusieurs défis que dans son application à une ou plusieurs cibles.

L'étape (ii) impliquait un premier examen des résultats préliminaires, qui a mis en évidence les nécessité de quelques ajustements à la structure et au contenu du tableur, à savoir :

- Dérivant de différentes politiques ou stratégies, plusieurs objectifs étaient similaires, redondants, dant, ou pourraient être inclus l'un dans le domaine de l'autre.
- Bien qu'exprimées par des mots différents, certaines actions étaient équivalentes en termes d'effets.
- Étant intégrés par différentes équipes de recherche, chacune d'entre elles ayant un parcours et une approche spécifiques, certaines connexions « action-objectif-défi » n'étaient pas précises.

Une simplification et un réaménagement du contenu ont donc été effectués :

- Les 30 objectifs initiaux (9 relatifs à la transition énergétique, 21 concernant les défis environnementaux et 4 concernant l'adaptation au changement climatique) ont été réorganisés en les fusionnant en 10 macro-objectifs (respectivement 3, 5 et 2). Le résultat de cette activité est présenté dans le tableau 4.
- Les

actions redondantes ont été fusionnées et une correspondance univoque a été établie entre chacune d'elles et les objectifs spécifiques (et macro-objectifs) soutenus. • les liens « action-objectif-défi » ont été vérifiés et affinés pour chaque technologie ou méthodologie proposée.

Tableau 4. Réarrangement des objectifs en macro-objectifs pour optimiser la structure du cadre conceptuel.

Défi	Macro-Objectifs	(Sous-)objectifs	Les références
Transition énergétique [ET]	Décarbonisation	Réduire les émissions de GES des processus de production et de consommation	7e PAE
		Réduire les émissions de GES dans le cycle de vie des produits	
	Améliorer l'efficacité énergétique	Améliorer l'efficacité énergétique des processus de production, de distribution et de consommation	ODD 7.3 PNRR M2C3 PNRR M1C3
		Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments (constructions existantes et nouvelles)	
		Améliorer l'efficacité énergétique du patrimoine culturel et des infrastructures également grâce à la numérisation	
	Augmenter la part des énergies renouvelables	Augmenter la production, la distribution et l'utilisation finale des énergies renouvelables	ODD 7.2 PNRR M2C1 PNRR M2C2
		Augmenter l'efficacité et/ou l'utilisation du PV	
		Soutenir les communautés énergétiques et les prosommateurs	
		Des réseaux intelligents, résilients et flexibles basés sur les énergies renouvelables	

Tableau 4. Suite

Défi	Macro-Objectifs	(Sous-)objectifs	Les références
Défis environnementaux [CE]	Protection, gestion durable et restauration des écosystèmes et des ressources naturelles ressources	Conservation, gestion durable et restauration des milieux naturels et des paysages	ODD 6.3 ODD 6.6
		Conservation, utilisation durable et restauration des écosystèmes d'eau douce, marins et de tous les écosystèmes liés à l'eau	ODD 14.1 ODD 15.1 ODD 15.2
		Conservation, utilisation durable et gestion des forêts	ODD 14.2 PNRR M2C4
		Sauvegarder la biodiversité et la qualité de l'air	
		Soutenir une urbanisation inclusive et durable et la capacité de planification et de gestion des établissements humains participatives, intégrées et durables	
	Humain de qualité, fiable, durable et résilient colonies	Augmenter les espaces verts dans les contextes urbains	
		Améliorer la qualité de l'eau, un approvisionnement sûr et une utilisation durable, notamment grâce au stockage, au recyclage et à la réutilisation.	ODD 6.3 ODD 9.1 ODD 11.3
		Répondre aux vulnérabilités sismiques et hydrogéologiques des bâtiments et des territoires	PNRR M2C4
		Développer des infrastructures de qualité, fiables, durables et résilientes	
		Soutenir le bien-être humain en favorisant le développement économique et l'emploi	
	Ressource matérielle durable gestion dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice	Améliorer l'innovation durable et l'efficacité des ressources dans les infrastructures, les systèmes de production et les chaînes d'approvisionnement, en favorisant également la croissance des PME	ODD 6.3 ODD 9.4 ODD 11.6
		Réduire tous les déchets par la prévention, la réduction, le recyclage et la réutilisation	ODD 12.4 ODD 12.5
		Réduire l'impact des villes grâce à une gestion durable et efficace des ressources matérielles	PNRR M1C2 PNRR M2C1
		Gestion efficace des produits chimiques, réduisant leur rejet dans l'air, l'eau et le sol	
		Prévenir et réduire considérablement la pollution de l'air, de l'eau et du sol de toutes sortes	ODD 9.4 ODD 11.6 ODD 14.1
	Zéro pollution	Réduire les impacts des établissements humains sur la qualité de l'air et la demande énergétique	PNRR M2C4
		Améliorer les technologies et les processus propres dans les infrastructures et les industries	
		Protection et valorisation de l'architecture et des paysages ruraux	
		Patrimoine et infrastructures culturels numérisés, inclusifs et économes en énergie	ODD 11.4 PNRR M1C3 PNRR M2C4
		Renforcer la sécurité sismique grâce à une surveillance efficace	
	Protection et sauvegarde des biens culturels et culturels mondiaux héritage naturel	Restauration de parcs et jardins historiques	

Tableau 4. Suite

Défi	Macro-Objectifs	(Sous-)objectifs	Les références
Adaptation au climat Changer [DPA]	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas liés au climat et catastrophes naturelles	Renforcer l'adaptation et réduire la vulnérabilité au CC	CC UE ODD 13.1 ODD 14.2 PNRR M2C2
		Gestion et protection des écosystèmes marins et côtiers pour éviter des impacts négatifs importants, notamment en renforçant leur résilience et en prenant des mesures pour leur restauration	
		Accroître la résilience des réseaux et des infrastructures de distribution d'énergie	
	Soutenir les dispositifs provisoire de bien-être humain et de sauvegarde des territoires	Gestion efficace des aléas hydrogéologiques, inondations et tempêtes impactant les bâtiments et les territoires	PNRR M2C2 PNRR M2C4

Les résultats globaux du processus de simplification et de réorganisation sont détaillés à la section 3.2.

L'étape (iii), relative à l'évaluation des technologies et des méthodologies, a consisté à définir les paramètres sur lesquels baser le choix. En fait, la simplicité de la réplication, l'efficacité pour accroître la durabilité et l'efficacité dans la mise en œuvre à grande échelle, bien qu'elles soient prises en compte pour l'identification, sont des caractéristiques difficiles à quantifier par des critères univoques, également en raison des différents modes, échelles et contextes d'application. Pour soutenir ce processus, un outil de visualisation de données a été utilisé pour représenter graphiquement les résultats : deux diagrammes alluviaux ont été développés, puis interprétés à la lumière du cadre conceptuel. Ce type de représentation graphique a été sélectionné car il permettait la description qualitative des relations entre les cibles, les technologies/méthodologies, les actions, les objectifs et les défis, tout en mettant en évidence quantitativement différents éléments ou caractéristiques simplement par de légers arrangements dans le cadre de l'ensemble de données source. Les diagrammes ont été construits à partir de la structure du tableur du cadre conceptuel. Les ensembles de données

- ont été organisés pour produire deux résultats différents, visant respectivement à identifier :
- Les technologies et méthodologies contribuant le plus à relever les défis, en fonction des actions soutenues, et présentant une application potentielle étendue, en fonction des cibles impliquées. Cela impliquait de réorganiser le tableur en s'appuyant sur deux opérations différentes. D'une part, la mesure dans laquelle les solutions ont influencé les défis a été exprimée en multipliant les lignes de données relatives à chaque technologie ou méthodologie en fonction du nombre d'actions associées. D'autre part, pour mettre en valeur les multiples applications des solutions, chaque action a été multipliée en fonction du nombre de cibles sur lesquelles elle agit, en prêtant attention à sa pertinence et à ses résultats réels. Le tableau 5 et la figure 5 illustrent la structure du premier ensemble de données et le diagramme alluvial associé.
 - La relation entre les solutions identifiées et les défis, en prêtant attention à la digitalisation transversale. L'ancien jeu de données (tableau 5) était complété par une colonne qui fournissait les données concernant, en l'état actuel de la technique, l'usage ou non de la numérisation pour chaque technologie. Le tableau 6 et la figure 6 illustrent la structure du deuxième ensemble de données et le diagramme alluvial associé.

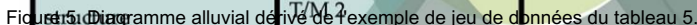


Figure 5. Diagramme alluvial dérivé de l'exemple de jeu de données du tableau 5.

le diagramme produit s'appuie sur le précédent, en gardant la disposition des Ts/Ms, des actions et (b) la ligne relative à la solution 2 est répétée 5 fois puisqu'elle supporte 2 actions et l'action (d) agit sur 3 cibles, tandis que l'action (b) agit sur 2 cibles.



Figure 6. Diagramme alluvial dérivé de l'exemple de jeu de données du tableau 6.

Tableau 6. Exemple du deuxième jeu de données considérant deux entrées (technologies ou méthodologies), sur la base de l'échantillon de données utilisé dans le tableau 3.

Solution	Cible ^(b)	Actions	Objectifs	Défis	Numérique Défi
T/M 1 (a)	enveloppe	action (a)	obj. 1	DPA	chiffre.
T/M1	enveloppe	action (b)	obj. 2	CE	chiffre.
T/M1	enveloppe	action (c)	obj. 2	CE	chiffre.
T/M1	espace urbain	action (a)	obj. 1	DPA	chiffre.
T/M1	espace urbain	action (b)	obj. 2	CE	chiffre.
T/M1	espace urbain	action (c)	obj. 2	CE	chiffre.
T/M2	structure	action (d)	obj. 1	ET	non-chiffre.
T/M2	structure	action (b)	obj. 3	CE	non-chiffre.
T/M2	espace	action (d)	obj. 1	ET	non-chiffre.
T/M2	intérieur	action (d)	obj. 1	ET	non-chiffre.
T/M2	espace	action (b)	obj. 3	CE	non-chiffre.

urbain espace urbain (a) les lignes suivent le même principe que celles du tableau 5 pour T/M 1 et T/M 2. (b) la colonne bien que non visualisé dans le graphique (Figure 6), est toujours présent dans le tableau car le diagramme produit construit sur le précédent, en gardant la disposition des Ts/Ms, des actions et des objectifs.

Graphiques bruts (www.rawgraphs.io, consulté le 22 mai 2023) était le logiciel open source logiciel utilisé pour élaborer les diagrammes, basé sur la feuille de calcul dûment éditée et enregistrée dans un format .cvs.

3. Résultats

Les sous-sections suivantes détaillent les résultats de l'enquête. La section 3.1 illustre le périmètre fixé pour définir la portée de la recherche, compte tenu des enjeux et de leurs champ d'application, donnant la définition des quatre enjeux. La section 3.2 décrit les étapes entreprises dans la phase 2 pour l'élaboration du cadre conceptuel, détaillant également réarrangement des objectifs ainsi que la correspondance univoque établie entre les actions et objectifs élaborés au cours de la troisième phase. Les sections 3.3 et 3.4 présentent enfin les différents les technologies et les méthodologies identifiées et décrivent les résultats de la prise de décision processus qui a conduit à la notation des technologies et des méthodologies en interprétant les diagrammes alluviaux.

Comme indiqué dans l'introduction, le contenu illustré dans les sections 3.2 à 3.4 représente deux niveaux de résultats différents. En fait, les premiers (section 3.2) découlent de la structuration d'une méthodologie originale et interdisciplinaire, transposable dans d'autres domaines d'étude, tandis que les seconds (Sections 3.3 et 3.4) proviennent de l'application de la méthode à un territoire spécifique et peut être pertinent dans des contextes européens similaires.

3.1. Définir la portée de la recherche : définitions des quatre défis à la lumière du bâti Secteur Environnement et Construction

3.1.1. Transition Énergétique

Définir la « transition énergétique » implique la nécessité d'identifier : (i) les résultats attendus de la transition elle-même, (ii) le contexte plus large dans lequel elle s'inscrit et (iii) les instruments envisagés et (iv) les caractéristiques.

Concernant les (i) résultats attendus, la transition s'oriente spécifiquement vers des énergie, et peut être considérée comme « la transition progressive des combustibles fossiles vers une économie neutre en carbone » s'adressant à « tous les niveaux de l'économie – de la production d'énergie jusqu'au domicile des gens » tout en « luttant pour un système énergétique plus sûr, compétitif et durable qui relèvera le défi existentiel de notre époque : le climat ».

changement » [19]. La décarbonisation par la réduction des émissions et l'amélioration de l'efficacité énergétique est un objectif global partagé également par le 8e PAE [20] et le PNUE [21].

En ce qui concerne (ii) le contexte, il est strictement lié à la mise en œuvre du Green Deal de l'UE, c'est-à-dire « une nouvelle stratégie de croissance qui vise à transformer l'UE en une société juste et prospère, dotée d'une économie moderne, économe en ressources et compétitive ». où il n'y aura pas d'émissions nettes de gaz à effet de serre en 2050 » [22]. La transition énergétique propre est donc fondamentale, en raison de la « nécessité de repenser les politiques d'approvisionnement en énergie propre dans l'économie, l'industrie, la production et la consommation, les infrastructures à grande échelle, les transports, l'alimentation et l'agriculture, la construction, la fiscalité et les avantages sociaux » [22].

Les (iii) principaux instruments jouant un rôle essentiel sont les sources d'énergie renouvelables [22] et leur intégration intelligente avec l'efficacité énergétique et d'autres solutions durables, parmi lesquelles les gaz décarbonés [22]; l'hydrogène renouvelable, produit principalement à partir de l'énergie éolienne et solaire [23]; technologies et infrastructures innovantes (réseaux intelligents, réseaux d'hydrogène, captage, stockage et utilisation du carbone, stockage d'énergie) [22]; et une part importante des énergies renouvelables géographiquement réparties [24]. Cependant, bien qu'elles ne soient pas directement liées aux systèmes de production d'énergie propre, à savoir les sources renouvelables, ou à des usines et installations plus efficaces, d'autres actions transversales peuvent soutenir l'objectif d'une économie neutre en carbone. En particulier, tous les processus impliquant une réduction des émissions de carbone par rapport à un scénario BAU agissent indirectement vers cet objectif, parmi lesquels [22]: mobiliser l'industrie vers une économie circulaire dans les chaînes de valeur à forte intensité de ressources et d'énergie comme la construction; construire et rénover de manière économe en énergie et en ressources, en adoptant une approche fondée sur le cycle de vie; et des stratégies préservant et restaurant notre capital naturel par le reboisement et l'économie biocirculaire.

D'autres (iv) caractéristiques au-delà de la perspective environnementale sont fondamentales: la transition énergétique propre doit être juste et juste [25] et améliorer notre qualité de vie en tant que citoyens [19]. Il s'agit, en ce sens, « d'une transition vers un système énergétique sûr, durable, abordable et sécurisé reposant sur le déploiement des énergies renouvelables, un marché intérieur de l'énergie qui fonctionne bien et l'amélioration de l'efficacité énergétique, tout en réduisant la pauvreté énergétique » [26].

3.1.2. Défis environnementaux

Cette recherche adopte une perspective dans laquelle les défis environnementaux impliquent des thématiques relevant non seulement du contexte naturel, mais aussi du contexte bâti, et dans une approche de cycle de vie. Ce choix ne repose pas seulement sur le carbone opérationnel et intrinsèque des bâtiments et des infrastructures, qui, avec leur consommation de ressources matérielles, représente un défi à relever: il s'appuie plutôt sur la notion de prise en charge de l'environnement bâti. à toutes les échelles et sous tous les aspects, du territoire à l'architecture, sans oublier le rôle que la culture y joue. Deux autres prémisses sont fondamentales pour définir clairement le périmètre des « défis environnementaux » adoptés dans cette enquête. D'une part, ils englobent non seulement les criticités écologiques d'origine humaine, mais également les risques de catastrophe naturelle inhérents au territoire spécifique du nord-est de l'Italie, comme les risques sismiques. D'un autre côté, répondre aux objectifs identifiés pour les défis environnementaux d'origine humaine signifie cibler les causes du changement climatique au fil du temps, et donc adopter une approche « ex ante » pour lutter contre le CC. En ce sens, le GIEC [27] définit « l'intervention humaine visant à réduire les émissions ou à accroître les puits de gaz à effet de serre » comme stratégies d'atténuation. Au contraire, les objectifs traitant spécifiquement des conséquences du changement climatique dans une perspective « ex post » (ceux traitant de concepts tels que la vulnérabilité, l'adaptation et la résilience) ne sont pas considérés comme faisant partie des « défis environnementaux », ni inhérents à la les risques de catastrophe du territoire, et sont examinés dans le défi Adaptation au Changement Climatique.

Les défis environnementaux actuels d'origine humaine sont « enracinés dans des développements mondiaux remontant à plusieurs décennies », dans lesquels « la grande accélération de l'activité sociale et économique a transformé la relation de l'humanité avec l'environnement » [28]. De telles pressions sur l'environnement contribuent désormais au changement climatique et, directement et indirectement, nuisent à la santé et au bien-être humains [28]. Leur

être identifiés comme : les changements dans l'utilisation des terres et de la mer, les modes de consommation et de production non durables, le changement climatique et la pollution de l'eau, de l'air et du sol [29]. Ainsi, les défis environnementaux de l'humanité peuvent se traduire par un ensemble d'objectifs qui, s'ils sont atteints, réduiront considérablement la pression anthropique réelle sur la nature, si nous « utilisons, restaurons et protégeons de manière durable les services écosystémiques qu'elle fournit » [29]. De tels objectifs couvrent différents domaines et domaines des systèmes économiques et sociaux, dont les liens [28,29] doivent être reconnus avant de définir les actions à entreprendre instruments connexes.

À l'échelle mondiale, le PNUE [21] identifie deux domaines prioritaires pour agir dans ce contexte : (i) la nature et (ii) la pollution chimique. Les défis associés sont : (i) l'utilisation, la gestion, la restauration et la protection durables des écosystèmes, de la biodiversité et des habitats ; et (ii) un air, un sol et une eau plus propres, également grâce à des modes de consommation et de production durables, en s'attaquant à la réduction des produits chimiques toxiques, du plastique et des déchets. Parmi les moyens potentiels à adopter, les stratégies d'efficacité des ressources, les processus d'économie circulaire, les approches basées sur les écosystèmes et les solutions basées sur la nature sont mis en avant.

Au niveau européen, le cadre politique s'appuie sur le Green Deal de l'UE [19] et les défis qu'il identifie pour atteindre l'objectif de décarbonation d'ici 2050. Ces questions environnementales peuvent être organisées en trois objectifs politiques spécifiques [30] qui, compte tenu de la manière dont Le « zéro pollution » concerne à la fois les émissions et les déchets, diffère légèrement des domaines prioritaires à l'échelle mondiale : (i) zéro pollution, (ii) biodiversité et (iii) économie circulaire – cette dernière examinée en profondeur par le 2e CEAP [31]. Les principaux domaines dans lesquels la durabilité doit être assurée sont l'alimentation, l'énergie, la mobilité et les bâtiments, et le principe DNH doit être respecté [30]. Le récent 8e PAE [20], s'appuyant également sur le SOER (Rapport sur l'état de l'environnement) 2020 [28], identifie parmi ses objectifs prioritaires, donc des défis : (a) une économie circulaire saine et non toxique ; (b) zéro pollution pour un environnement exempt de substances toxiques, y compris l'air, l'eau et le sol, ainsi que la pollution lumineuse et sonore ; (c) protéger, préserver et restaurer la biodiversité ; (d) réduire les pressions environnementales dans les domaines de l'énergie, de l'industrie, des bâtiments et des infrastructures, de la mobilité, du tourisme, du commerce international et du système alimentaire.

Toutes les actions à entreprendre pour relever les défis environnementaux doivent être soigneusement évaluées par rapport aux fragilités potentielles qui distinguent les différentes zones du territoire du Nord-Est dans une perspective de prévention et de réduction des risques de catastrophe, car la sécurité représente une condition nécessaire pour un bien-être de la communauté [22].

3.1.3. Adaptation au changement climatique

Dans le contexte du changement climatique, l'adaptation est définie comme « le processus d'ajustement au climat réel ou attendu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation cherche à modérer ou à éviter les dommages ou à exploiter les opportunités bénéfiques. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'ajustement au climat attendu et à ses effets » [32]. Selon l'article 1 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques [33], cette dernière concerne « un changement de climat attribué directement ou indirectement à l'activité humaine qui modifie la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoute aux effets naturels ». variabilité climatique observée sur des périodes de temps comparables » [34]. Par conséquent, l'adaptation au changement climatique fait référence aux « changements dans les processus, les pratiques et les structures visant à modérer les dommages potentiels ou à bénéficier des opportunités associées au changement climatique » [33].

Le concept « d'adaptation » englobe les actions entreprises pour renforcer la résilience et réduire la vulnérabilité aux conséquences du CC. Les premiers visent à renforcer « la capacité des systèmes sociaux, économiques et écologiques interconnectés à faire face à un événement, une tendance ou une perturbation aléatoire, en répondant ou en se réorganisant de manière à maintenir leur fonction essentielle, leur identité », tandis que les seconds abordent « la propension ou prédisposition à être affectée » par de tels événements [27].

Dans le contexte européen, plusieurs politiques abordent les objectifs à atteindre pour faire face aux effets du changement climatique.

Le 8e PAE souligne l'importance de « renforcer la résilience et réduire vulnérabilité » [20] pour favoriser l'adaptation.

Le Green Deal européen reconnaît l'importance de lutter contre les effets du changement climatique en intensifiant « les efforts de protection contre le changement climatique, de renforcement de la résilience, de prévention et de préparation » et en travaillant également sur l'adaptation en développant des instruments intégrant le changement climatique dans d'autres pratiques de gestion des risques [22].

Étant donné que « le changement climatique se produit aujourd'hui », la nouvelle stratégie européenne d'adaptation au changement climatique a été adoptée « pour construire un avenir plus résilient » [35], soulignant l'importance d'entreprendre des actions à long terme puisque « l'arrêt de toutes les émissions de gaz à effet de serre serait encore nécessaire ». pas empêcher les impacts climatiques qui se produisent déjà » – c'est-à-dire l'approche « ex ante » décrite dans la définition des défis environnementaux. De telles actions, et en particulier les solutions fondées sur la nature, favoriseront les gains en matière d'adaptation, d'atténuation, de réduction des risques de catastrophe et de biodiversité, tandis qu'une meilleure compréhension des interdépendances entre le changement climatique, les écosystèmes et les services qu'ils fournissent permettra de minimiser les risques, d'améliorer résilience (en particulier locale) et assurer la fourniture continue de services et de caractéristiques écosystémiques vitaux. La Stratégie définit également les avantages globaux de l'adaptation : (i) éviter de futures pertes humaines, naturelles et matérielles ; (ii) générer des avantages économiques en réduisant les risques, en augmentant la productivité et en stimulant l'innovation ; et (iii) les avantages sociaux, environnementaux et culturels.

Plusieurs actions visant à lutter contre les vulnérabilités climatiques s'appliquent à l'environnement bâti, en gardant à l'esprit la pertinence transversale des bâtiments dans les politiques climatiques européennes [36] : ils peuvent être vulnérables au changement climatique mais, en même temps, aussi des atouts grâce auxquels de grandes Des stratégies d'adaptation à grande échelle peuvent être mises en œuvre. Néanmoins, les décisions politiques à l'échelle du bâtiment doivent être coordonnées avec des stratégies plus larges (telles que celles de planification urbaine) et étayées par certaines données climatiques, en gardant à l'esprit qu'il ne peut exister de solution universelle [33].

En ce sens, il est possible de parler d'« adaptation des bâtiments au changement climatique », qui considère comment différents bâtiments peuvent s'adapter au changement climatique et les impacts suivants sur la santé, le bien-être et la productivité de la communauté.

3.1.4. Numérisation

Dans son acception plus large, l'action de « numériser » ou de « numériser » fait référence à la possibilité de transformer quelque chose de physique en une forme numérique [37,38]. Lorsqu'elle est appliquée aux processus, aux chaînes d'approvisionnement ou aux modèles économiques, elle implique « l'adoption ou l'augmentation de l'utilisation des technologies numériques par une organisation, une industrie ou un pays » [39], pour « changer un modèle économique et générer de nouveaux revenus et opportunités génératrices de valeur » (Gartner Online Dictionary, dans [40], p. 11). Parmi les améliorations et avantages possibles que permet la numérisation, la Facilité italienne pour la reprise et la résilience observe comment les efforts de numérisation et d'innovation ne représentent pas seulement un objectif en soi, mais une « nécessité transversale, car elle concerne la mise à jour technologique continue et nécessaire dans le secteur ». systèmes productifs » [41].

Cependant, il est très difficile de fournir une définition unique et exhaustive de la numérisation et de ses modèles de mise en œuvre potentiels, en particulier lorsqu'elle est liée au secteur du bâtiment et à l'environnement bâti. En fait, cette perspective nécessite d'examiner à la fois les nouveautés apportées par l'innovation dans les processus de construction, le marché et la chaîne d'approvisionnement grâce aux systèmes ou technologies numériques, et leurs résultats dans la forme matérielle, comme les bâtiments et les infrastructures, les zones urbaines ou les espaces privés, affectant en fin de compte notre vie quotidienne à toutes les échelles.

Concernant le secteur de la construction, qui constitue un moteur clé de l'économie de l'UE, les technologies numériques et leurs interactions sont nécessaires pour améliorer son fonctionnement en termes de compétitivité, de ressources, d'efficacité énergétique et de productivité [42]. En outre, la numérisation peut également être considérée comme fondamentale pour accélérer sa transformation durable, relever les défis de la protection du climat et de l'environnement et réduire l'empreinte carbone européenne [43]. Néanmoins, à ce jour, le secteur du bâtiment est l'un des moins numérisés de l'économie de l'UE [44] ; la numérisation constitue donc à la fois une opportunité et

un défi [45] en raison de la complexité et de la structure sectorielle du domaine. Au sein de l'environnement bâti urbain, les impacts de la numérisation sont répandus à toutes les échelles, tant dans les espaces privés que publics. Néanmoins, de nombreuses améliorations peuvent encore être apportées pour améliorer la rentabilité, la qualité de vie, la convivialité et l'accessibilité des bâtiments et des espaces ouverts, surtout en termes de justice spatiale et d'inclusion sociale et, bien sûr, de durabilité environnementale.

Faisant partie des « transitions jumelles » qui affectent de manière significative le développement du secteur de la construction, la numérisation dans le domaine du bâtiment soutiendra toutes les actions visant à la décarbonation, à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la réduction des émissions de GES. Cela signifie améliorer l'efficacité du processus de construction en plusieurs phases : fourniture de matériaux, enquêtes et acquisition de données, conception et optimisation du bâtiment, gestion du chantier (y compris les flux de matériaux et d'énergie) et gestion efficace de la fin de vie des bâtiments. Les avantages durables de la numérisation affecteront également la phase opérationnelle, grâce à la collecte de données en temps réel, permettant de surveiller et d'optimiser les performances, le fonctionnement, la maintenance et la sécurité.

L'ECSO [42] divise les technologies numériques les plus pertinentes pour le secteur de la construction en trois catégories : (i) l'acquisition de données (par exemple, capteurs ; Internet des objets ; numérisation 3D) ; (ii) l'automatisation des processus (par exemple, robotique, impression 3D, drones) ; et (iii) informations et analyses numériques (par exemple, modélisation des informations du bâtiment – BIM ; réalité virtuelle/augmentée – VR/AR ; intelligence artificielle – IA ; jumeaux numériques). Bien que ces technologies affichent différents niveaux de développement, avec une diffusion et une utilisation plus larges du BIM, des capteurs et des drones, l'efficacité et la compétitivité du secteur pourraient être considérablement améliorées par « l'acquisition de données, l'automatisation des processus et d'autres technologies liées à l'information et à l'analyse numériques » [42] (p. 12).

Il est crucial de faire face à une chaîne d'approvisionnement et à un secteur fragmentés et hétérogènes, principalement composés de PME, impliquant tous les acteurs. Dans la mesure où « la numérisation est à la fois inévitable et cruciale pour la compétitivité et la durabilité du secteur européen de la construction » [42] (p. 9), elle doit devenir un moteur, en particulier parmi les PME, qui sont souvent ignorantes et/ou pas convaincues de l'importance du secteur de la construction. avantages de la numérisation. Le manuel spécifique de la Commission européenne [46] est dédié à la diffusion du savoir-faire sur les « technologies considérées comme pertinentes pour les PME de la construction » sur la base d'études antérieures, à savoir (i) la modélisation des informations du bâtiment (BIM) ; (ii) l'impression 3D, (iii) les robots automatisés (y compris les exosquelettes), (iv) les drones, (v) la numérisation 3D, (vi) les capteurs et (vii) l'Internet des objets (IoT) et les appareils mobiles. Néanmoins, outre les emplois qualifiés, il faut considérer que la reconversion et le perfectionnement de la main-d'œuvre impliquée dans la construction seront nécessaires.

3.2. Résultats de l'élaboration du cadre conceptuel : défis, objectifs, actions

La deuxième phase de la recherche a conduit à définir le contenu du cadre conceptuel à recueillir auprès des groupes de recherche. Dans cette perspective, la structure du tableur utilisé pour collecter les données (tableau 3) représente une méthode employée, mais aussi un résultat préliminaire en soi.

Suite à la collecte de données réalisée en phase 3, la simplification et le réaménagement des contenus ont été effectués, selon la correspondance entre les 30 objectifs initiaux et les 10 macro-objectifs déjà décrits dans le tableau 4. Cette réorganisation et la vérification des parcours « défi-objectif-action » ont permis de tracer un lien univoque entre chaque action et le ou les macro-objectifs qu'elle supporte, comme l'illustre le tableau 7.

Tableau 7. Correspondances univoques identifiées entre les actions collectées et les macro- objectifs soutenus.

Action	Macro-Objectif	(Sous-)objectifs
Garantir l'indépendance humaine, la sécurité et le bien-être	Établissements humains de qualité, fiables, durables et résilients [EC]	Soutenir une urbanisation inclusive et durable et la capacité de planification et de gestion des établissements humains participatives, intégrées et durables Soutenir le bien-être humain en favorisant le développement économique et l'emploi
	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	tous les sous-objectifs
	Soutenir les dispositifs provisoires de bien-être humain et de sauvegarde des territoires [CCA]	tous les sous-objectifs
Améliorer la qualité de l'air ambiant et/ou l'absorption des polluants	Zéro pollution [CE]	Prévenir et réduire considérablement la pollution de l'air, de l'eau et du sol de toutes sortes Réduire les impacts des établissements humains sur la qualité de l'air et la demande énergétique
	Protection, gestion durable et restauration des écosystèmes et des ressources naturelles [CE]	Sauvegarder la biodiversité et la qualité de l'air
Améliorer la biodiversité	Protection, gestion durable et restauration des écosystèmes et des ressources naturelles [CE]	Sauvegarder la biodiversité et la qualité de l'air
	Établissements humains de qualité, fiables, durables et résilients [EC]	Augmenter les espaces verts dans les contextes urbains
Améliorer la protection des côtes	Protection, gestion durable et restauration des écosystèmes et des ressources naturelles [CE]	Conservation, utilisation durable et restauration des écosystèmes d'eau douce, marins et de tous les écosystèmes liés à l'eau
	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	Gestion et protection des écosystèmes marins et côtiers pour éviter des impacts négatifs importants, notamment en renforçant leur résilience et en prenant des mesures pour leur restauration
Améliorer la qualité de l'air intérieur	Zéro pollution [CE]	Prévenir et réduire considérablement la pollution de l'air, de l'eau et du sol de toutes sortes Réduire les impacts des établissements humains sur la qualité de l'air et la demande énergétique
Améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources dans la construction	Gestion durable des ressources matérielles dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [CE]	tous les sous-objectifs
Améliorer la gestion circulaire des ressources matérielles	Décarbonisation [ET]	Réduire les émissions de GES dans le cycle de vie des produits
	Ressource matérielle durable gestion dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [EC]	Réduire tous les déchets par la prévention, la réduction, le recyclage et la réutilisation Réduire l'impact des villes grâce à une gestion durable et efficace des ressources matérielles

Tableau 7. Suite

Action	Macro-Objectif	(Sous-)objectifs
Améliorer la purification et la qualité de l'eau	Protection, gestion durable et restauration des écosystèmes et des ressources naturelles [CE]	Conservation, utilisation durable et restauration des écosystèmes d'eau douce, marins et de tous les écosystèmes liés à l'eau
	Zéro pollution [CE]	Prévenir et réduire considérablement la pollution de l'air, de l'eau et du sol de toutes sortes
Améliorer le recyclage et la réutilisation de l'eau	Établissements humains de qualité, fiables, durables et résilients [EC]	Améliorer la qualité de l'eau, un approvisionnement sûr et une utilisation durable, notamment grâce au stockage, au recyclage et à la réutilisation.
Augmentation de l'efficacité des installations	Décarbonisation [ET]	Réduire les émissions de GES des processus de production et de consommation
	Améliorer l'efficacité énergétique [ET]	Améliorer l'efficacité énergétique des processus de production, de distribution et de consommation Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments (constructions existantes et nouvelles)
Augmentation de la perméabilité du sol	Établissements humains de qualité, fiables, durables et résilients [EC]	Augmenter les espaces verts dans les contextes urbains
	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	Renforcer l'adaptation et réduire la vulnérabilité au CC
	Soutenir les dispositifs provisoires de bien-être humain et de sauvegarde des territoires [CCA]	Gestion efficace des aléas hydrogéologiques, inondations et tempêtes impactant les bâtiments et les territoires
Augmenter la performance de l'enveloppe des bâtiments	Décarbonisation [ET]	Réduire les émissions de GES des processus de production et de consommation Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments (constructions existantes et nouvelles)
	Zéro pollution [CE]	Réduire les impacts des établissements humains sur la qualité de l'air et la demande énergétique
Utilisation croissante des énergies renouvelables	Décarbonisation [ET]	Réduire les émissions de GES des processus de production et de consommation
	Augmenter la part des énergies renouvelables [ET]	Augmenter la production, la distribution et l'utilisation finale des énergies renouvelables
Augmentation de la rétention d'eau (régulation du ruissellement)	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	Renforcer l'adaptation et réduire la vulnérabilité au CC
Approvisionnement local en matériaux et éléments de construction	Ressource matérielle durable gestion dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [EC]	Réduire l'impact des villes grâce à un matériau durable et performant gestion des ressources
Atténuer les effets de la surchauffe	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	Renforcer l'adaptation et réduire la vulnérabilité au CC
Surveillance des vulnérabilités de l'environnement naturel et bâti	Établissements humains de qualité, fiables, durables et résilients [EC]	Répondre aux vulnérabilités sismiques et hydrogéologiques des bâtiments et des territoires
	Protection et sauvegarde du patrimoine culturel et naturel mondial [CE]	Renforcer la sécurité sismique également grâce à une surveillance efficace
	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	Gestion et protection des écosystèmes marins et côtiers pour éviter des impacts négatifs importants, notamment en renforçant leur résilience et en prenant des mesures pour leur restauration

Tableau 7. Suite

Action	Macro-Objectif	(Sous-)objectifs
Surveillance des vulnérabilités de l'environnement naturel et bâti	Soutenir les dispositifs provisoires de bien-être humain et de sauvegarde des territoires [CCA]	Gestion efficace des aléas hydrogéologiques, des inondations et des tempêtes impactant les bâtiments et les territoires
Optimiser la gestion des déchets de construction et de démolition	Décarbonisation [ET]	Réduire les émissions de GES des processus de production et de consommation
	Gestion durable des ressources matérielles dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [CE]	tous les sous-objectifs
Optimiser la gestion de chantier	Décarbonisation [ET]	Réduire les émissions de GES des processus de production et de consommation
	Gestion durable des ressources matérielles dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [CE]	Améliorer l'innovation durable et l'efficacité des ressources dans les infrastructures, les systèmes de production et les chaînes d'approvisionnement, en favorisant également la croissance des PME
Promouvoir le reboisement/boisement et les espèces arboricoles en contexte urbain	Protection, gestion durable et restauration des écosystèmes et des ressources naturelles [CE]	Conservation, gestion durable et restauration des milieux naturels et des paysages
	Établissements humains de qualité, fiables, durables et résilients [EC]	Augmenter les espaces verts dans les contextes urbains
Protéger le patrimoine et les autres ressources bâties	Protection et sauvegarde du patrimoine culturel et naturel mondial [CE]	tous les sous-objectifs
	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	Renforcer l'adaptation et réduire la vulnérabilité au CC
Réduire l'exploitation du capital naturel	Protection, gestion durable et restauration des écosystèmes et des ressources naturelles [CE]	tous les sous-objectifs
	Ressource matérielle durable gestion dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [EC]	Réduire l'impact des villes grâce à un matériau durable et performant gestion des ressources
Réduire l'effet d'îlot de chaleur	Décarbonisation [ET]	Réduire les émissions de GES des processus de production et de consommation
	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	Renforcer l'adaptation et réduire la vulnérabilité au CC
Réduire la vulnérabilité sismique des bâtiments existants	Établissements humains de qualité, fiables, durables et résilients [EC]	Répondre aux vulnérabilités sismiques et hydrogéologiques des bâtiments et des territoires
	Protection et sauvegarde du patrimoine culturel et naturel mondial [CE]	Renforcer la sécurité sismique également grâce à une surveillance efficace
	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	Renforcer l'adaptation et réduire la vulnérabilité au CC
Réduire l'utilisation de produits chimiques dans les matériaux de construction	Gestion durable des ressources matérielles dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [CE]	Réduire l'impact des villes grâce à une gestion durable et efficace des ressources matérielles
	Zéro pollution [CE]	Gestion efficace des produits chimiques, réduisant leur rejet dans l'air, l'eau et le sol

Tableau 7. Suite

Action	Macro-Objectif	(Sous-)objectifs
Mise en place de réseaux de distribution à micro et petite échelle pour les énergies renouvelables	Augmenter la part des énergies renouvelables [ET]	Des réseaux intelligents, résilients et flexibles basés sur les énergies renouvelables
	Établissements humains de qualité, fiables, durables et résilients [EC]	Soutenir une urbanisation inclusive et durable et la capacité de planification et de gestion des établissements humains participatives, intégrées et durables
	Renforcer la résilience et la capacité d'adaptation aux aléas et aux catastrophes naturelles liés au climat [CCA]	Accroître la résilience des réseaux et des infrastructures de distribution d'énergie
Utiliser des matériaux et substances biosourcés	Ressource matérielle durable gestion dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [EC]	Réduire l'impact des villes grâce à un matériau durable et performant gestion des ressources
	Zéro pollution [CE]	Réduire les impacts des établissements humains sur la qualité de l'air et la demande énergétique
Utiliser des matériaux de stockage de carbone	Gestion durable des ressources matérielles dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [CE]	Réduire l'impact des villes grâce à une gestion durable et efficace des ressources matérielles
	Zéro pollution [CE]	Réduire les impacts des établissements humains sur la qualité de l'air et la demande énergétique
Utiliser des matériaux peu énergivores	Décarbonisation [ET]	Réduire les émissions de GES dans le cycle de vie des produits
	Gestion durable des ressources matérielles dans une économie non toxique, circulaire et régénératrice [CE]	Réduire l'impact des villes grâce à une gestion durable et efficace des ressources matérielles

3.3. Identification des données collectées : technologies innovantes et méthodologies opérationnelles pour l'environnement bâti et le secteur du bâtiment du nord-est italien

La mise en page réorganisée du cadre conceptuel global a conduit à la structure finale de la feuille de calcul, dont le contenu est entièrement affiché dans les documents supplémentaires (tableau S1). Comme prévu dans la section 2, le tableau S1 représente le résultat de l'application de la méthodologie au contexte du nord-est italien et, en même temps, une méthode utilisée pour l'interprétation suivante des résultats eux-mêmes.

Au cours de la troisième phase de l'enquête, un total de 38 technologies innovantes et méthodologies opérationnelles ont été collectées ; aucun d'entre eux n'a été exclu ou modifié en raison des réaménagements effectués au fur et à mesure de la collecte des résultats préliminaires. Les solutions ont été organisées en sept groupes ou « stratégies », en fonction de leur approche et/ou objectif similaire – une organisation uniquement destinée à fournir une interprétation qualitative plus approfondie des résultats, et qui ne limitait ni n'influçait d'aucune façon la saisie des données. Les stratégies sont nommées comme suit :

- Stratégies basées sur la nature (9 solutions).
- Matériaux renouvelables (3 solutions).
- Prolonger la durée de vie des bâtiments et de leurs composants et matériaux (7 solutions).
- Solutions passives pour les bâtiments (5 solutions).
- Information et analyse numériques (4 solutions).
- Acquisition et sortie de données (5 solutions).
- Sources d'énergie renouvelables et installation (5 solutions).

Chaque stratégie comprend des technologies et des méthodologies relatives à différentes échelles, contextes d'application et disciplines ou domaines d'études, tels que détaillés dans le tableau 8.

Tableau 8. Liste des technologies (T) et méthodologies (M) identifiées pour chaque stratégie.

Stratégie	Solutions
Stratégies basées sur la nature	T. Toits verts, Façades végétalisées, Jardins pluviaux, Parterres mobiles, Bio-restauration et verdure produits chimiques, TRC innovant avec des fibres naturelles
	M. Solutions de déchaussée ou de scellement ; Verdissement à l'échelle urbaine, Agriculture hors sol
Matériaux renouvelables	T. Structures en bois d'ingénierie à haute résistance, Isolation extérieure et intérieure de l'existant et nouveaux bâtiments avec des matériaux biosourcés, Bouchage de bâtiments en fibres naturelles
	M. -
Prolonger la durée de vie de bâtiments et bâtiments' composants et matériaux	T. Béton structurel et non structurel avec des pourcentages élevés de granulats recyclés provenant de déchets de construction et de démolition, panneaux et plaques en polymère thermoplastique à haute pourcentages de matériaux recyclés pour les enveloppes de bâtiments transparentes ou semi-transparentes, Panneaux et plaques avec des pourcentages élevés de matériaux recyclés et recyclables pour enveloppe des bâtiments, Cadres externes contreventés en acier équipés de dispositifs avancés de protection sismique
	M. Conception pour le démontage et la réutilisation, Démolition ou déconstruction sélective pour la réutilisation de composants, conception pour l'adaptabilité/flexibilité/changement
Solutions passives pour les bâtiments	T. Brise-soleil motorisé avec cellules PV intégrées, Matériaux à Changement de Phase (PCM) intégration dans les composants de l'enveloppe du bâtiment, briques Breathe pour le bâtiment enveloppe, Peinture photocatalytique pour murs extérieurs
	M. Façades à conception paramétrique pour construction neuve ou rénovation-revêtement
Informations et analyses numériques	T. Modélisation des informations du bâtiment pour faciliter les bâtiments existants et gestion du patrimoine, La réalité virtuelle pour gérer le chantier
	M. Jumeaux numériques, Suivi des matériaux et éléments de construction
Acquisition et sortie de données	T. Internet des objets pour la gestion des bâtiments, Internet des objets pour une société plus inclusive espace, Techniques innovantes de surveillance des environnements, matériaux, structures paramètres, Drones pour la gestion des chantiers, des bâtiments et des territoires existants
	M. Méthodologie innovante transdisciplinaire pour l'évaluation de la vulnérabilité
Sources d'énergie renouvelables et installation	T. Intégration de sources d'énergie renouvelables dans les réseaux intelligents, détection de pannes et maintenance prévisions (systèmes CVC), films solaires pour fenêtres ou façades vitrées, photovoltaïques et verre intelligent pour fenêtres ou façades, Photovoltaïque organique
	M. -

Les stratégies basées sur la nature comprennent six technologies (toits verts, façades vertes, pluie jardins, Parterres mobiles, Produits de bio-restauration et de chimie verte, Innovants Béton Armé Textile (TRC) avec fibres naturelles) et trois méthodologies (Solutions de déchaussée ou de scellement ; Verdissement à l'échelle urbaine, Agriculture hors sol).

Parmi les matériaux renouvelables, trois technologies ont été identifiées (Haute résistance structures en bois d'ingénierie, Isolation extérieure et intérieure des bâtiments existants et neufs avec des matériaux biosourcés, obturation de bâtiment en fibres naturelles).

La stratégie « Prolonger la durée de vie des bâtiments et de leurs composants et matériaux » comprend quatre technologies (béton structurel et non structurel à haute pourcentages de granulats recyclés issus des déchets de construction et de démolition (béton et briques), panneaux et plaques en polymère thermoplastique (PC, PMMA) avec des pourcentages élevés de matériau recyclé pour enveloppes de bâtiments transparentes ou semi-transparentes, Panneaux et plaques avec des pourcentages élevés de matériaux recyclés et recyclables pour l'enveloppe des bâtiments, Externe cadres contreventés en acier équipés de dispositifs avancés de protection sismique) et trois méthodologies (Conception pour le démontage et la réutilisation, Démolition ou déconstruction sélective pour la réutilisation des composants, Design for Adaptability/Flexibility/Change).

Les solutions passives identifiées pour les bâtiments comprennent quatre technologies (Motorisé brise-soleil avec cellules photovoltaïques intégrées, intégration de matériaux à changement de phase (PCM) dans les composants de l'enveloppe du bâtiment, Briques Breathe pour l'enveloppe du bâtiment, Photocatalytique

peinture pour murs extérieurs) et une méthodologie (Façades paramétriques pour les nouveaux construction ou rénovation-revêtement).

La catégorie Information et analyse numériques comprend deux technologies (Building Modélisation de l'information pour faciliter la gestion des bâtiments existants et du patrimoine, Virtuel réalité pour gérer le chantier) et deux méthodologies (Jumeaux numériques, Tracking des matériaux et éléments de construction).

Les résultats d'acquisition et de sortie de données incluent quatre technologies (Internet des objets pour la gestion des bâtiments, Internet des objets pour un espace plus inclusif, Innovant techniques de surveillance des paramètres environnementaux, matériels, structurels, Drones pour gestion des chantiers, des bâtiments existants et des territoires) et une méthodologie (Méthodologie transdisciplinaire innovante pour l'évaluation de la vulnérabilité).

La catégorie Sources d'énergie renouvelables et installations comprend cinq technologies (Intégration des sources d'énergie renouvelables dans les réseaux intelligents, Détection et maintenance des pannes prévisions (systèmes CVC), Films solaires pour fenêtres ou façades vitrées, Photovoltaïque et intelligent verre pour fenêtres ou façades, Photovoltaïque organique).

Le nombre total de technologies (28) dépasse le nombre de méthodologies (10). La différence entre ces deux types de solutions réside dans leur nom lui-même. Dans En fait, les technologies identifient des applications à mettre en œuvre de manière pratique dans le bâtiment environnement. Au contraire, les méthodologies font référence à des processus opérationnels soutenant la conception, la gestion ou l'entretien des constructions et/ou des espaces urbains, éventuellement concernant plusieurs phases du cycle de vie du bâtiment. En ce sens, une technologie peut être une des instruments au moyen desquels une méthodologie est mise en œuvre.

3.4. Notation des solutions les plus prometteuses par interprétation des diagrammes alluviaux

Le processus d'évaluation de la troisième phase de la recherche a été soutenu par les deux diagrammes alluviaux développés pour décrire les relations entre technologies/méthodologies, actions, objectifs et défis. Les deux diagrammes, bien qu'ils aient été conçus pour décrire ces liens par une approche qualitative, visant à mettre en évidence de manière quantitative deux aspects différents.

La figure 7 montre le premier diagramme alluvial, dans lequel les cinq catégories examinées sont organisé selon l'option « décroissante » : concernant les objectifs de l'enquête, les éléments situés dans la partie supérieure du graphique contribuent mieux à soutenir les défis que ceux de la partie inférieure. La base de données associée (tableau S2) et une version de haute qualité de La figure 7 (Figure S1) est incluse dans les documents supplémentaires.

Les actions affichées en haut de la figure sont celles les plus mises en œuvre par les technologies et méthodologies identifiées ; les objectifs sont listés selon les nombre d'actions les soutenant ; par conséquent, la figure affiche en haut ceux qui sont les plus abordés par les actions.

Le tableau 9 répertorie les technologies et méthodologies par ordre décroissant, exprimant le nombre global d'actions associées. Cette dernière est influencée par les objectifs abordée, en prêtant attention à la pertinence réelle de l'action et aux résultats tels qu'illustrés dans la section 2 (tableau 5). Le tableau 10 suivant précise chacune des solutions agissant sur les quatre cibles, ainsi que leur nombre total.

Tableau 9. Liste des technologies et méthodologies et leur nombre d'actions correspondant selon l'ordre décroissant.

Rang	Technologie ou méthodologie	Nombre d'actions
1	Suivi des matériaux et éléments de construction	21
2	Démolition ou déconstruction sélective pour la réutilisation de composants	18
3	Méthodologie innovante transdisciplinaire pour l'évaluation de la vulnérabilité	15
4	Techniques innovantes de surveillance des paramètres environnementaux, matériaux et structurels	14
	Des drones pour gérer les chantiers, les bâtiments existants et les territoires	14

Tableau 9. Suite

Rang	Technologie ou méthodologie	Nombre d'actions
5	Conception pour le démontage et la réutilisation	12
	Photovoltaïque organique	12
6	Jumeaux numériques	11
	Jardins pluviaux	dix
7	Rénovation par la conception pour l'adaptabilité/flexibilité/changement	dix
	La réalité virtuelle pour gérer le chantier	dix
	IoT pour la gestion des bâtiments	dix
8	Toits verts	9
	Façades vertes	9
	Béton armé textile (TRC) innovant fabriqué avec des matériaux naturels	9
9	Solutions de davage ou de scellement	8
	Isolation extérieure et intérieure des bâtiments existants et neufs avec des matériaux biosourcés	8
	Béton structurel et non structurel avec des pourcentages élevés de granulats recyclés provenant de déchets de construction et de démolition	8
	IoT pour un espace plus inclusif	8
dix	Jardins et parterres de fleurs portables	7
	Verdissement à l'échelle urbaine	7
	Structures en bois d'ingénierie à haute résistance	7
11	Produits de biorestauration et de chimie verte	6
	Obturation de bâtiments en fibres naturelles	6
	Cadres externes contreventés en acier équipés de dispositifs avancés de protection sismique	6
	Modélisation des informations du bâtiment pour faciliter les bâtiments existants et gestion du patrimoine	6
12	Intégration des sources d'énergie renouvelables dans les réseaux intelligents	5
	Verre photovoltaïque et intelligent pour fenêtres ou façades	5
13	Agriculture hors sol	4
	Panneaux et plaques en polymère thermoplastique (PC, PMMA) avec des pourcentages élevés de matériau recyclé pour enveloppes de bâtiments transparentes ou semi-transparentes	4
	Panneaux et plaques avec des pourcentages élevés de matériaux recyclés et recyclables pour enveloppe des bâtiments	4
	Brise-soleil motorisé avec cellules PV intégrées	4
	Peinture photocatalytique pour murs extérieurs	4
	Façades à conception paramétrique pour construction neuve ou rénovation (revêtement)	3
14	Intégration de matériaux à changement de phase (PCM) dans les composants de l'enveloppe du bâtiment	3
	Briques respirantes pour l'enveloppe du bâtiment	3
	Détection de pannes et prévision de maintenance (systèmes CVC)	3
	Films solaires pour fenêtres ou façades vitrées	3

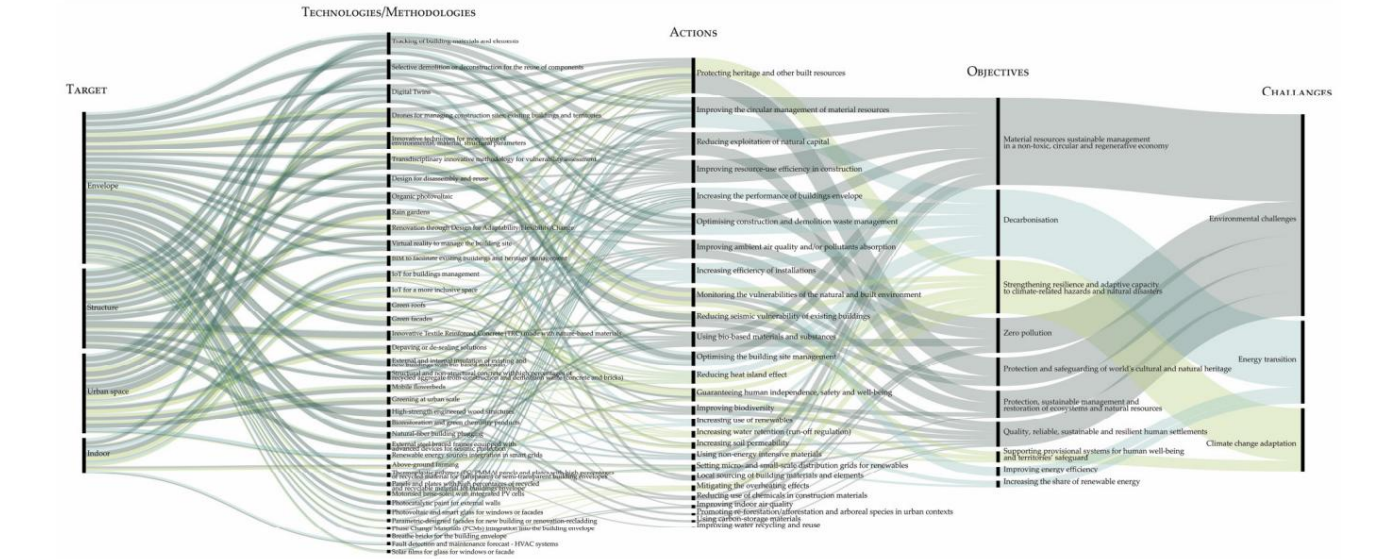


Figure 7. Premier diagramme alluvial illustrant la relation entre les cibles, les solutions, les actions, les objectifs et les défis, en les classant en fonction du nombre d'actions soutenues et des objectifs visés. La visualisation, suivant l'option « décroissant », classe les T/M en fonction du degré de leur soutien par les actions et les défis.

Les actions affichées par ordre de fréquence sont celles les plus mises en œuvre. Tableau 10. Liste des technologies et par les technologies et méthodologies identifiées : les objectifs sont répertoriés selon la

Cible	Technologie ou la méthodologie	Nombre d'actions
	Toits verts ; Façades vertes ; Produits de bioréhabilitation et de chimie verte ; Externe et interne	
	et nouveaux avec des matériaux biosourcés ; Produits de bioréhabilitation et de chimie verte ; Externe et interne	
	Béton structural et non structural avec des pourcentages élevés de granulats recyclés issus de la construction	
	cibles (béton et briques) ; Panneaux et plaques en polymère thermoplastique (PC, PMMA)	
	habiles, en prêtant attention à la pertinence et aux résultats réels de l'action, comme en témoignent les pourcentages élevés	
	de matériaux recyclés pour les enveloppes transparentes ou semi-transparentes des bâtiments ;	
	Section 2 (tableau 5). Le tableau 10 suivant met en évidence chacune des solutions agissant sur les panneaux et plaques	
	avec des pourcentages élevés de matériaux recyclés et recyclables pour l'enveloppe des bâtiments ;	
	Conception pour le démontage et la réutilisation ; Démolition ou déconstruction sélective pour la réutilisation de composants ;	
E	Rénovation par la conception pour l'adaptabilité/flexibilité/changement ; Brise-soleil motorisé avec	26
	photovoltaïques intégrés ; Façades de conception pour la construction neuve de bâtiments correspondant aux cellules	
	à l'ordre décroissant	
Rang	Intégration des matériaux de changement (PCM) dans l'enveloppe du bâtiment ; Respirez les briques pour le bâtiment	Nombre d'actions
1	enveloppe; Peinture photocatalytique pour murs extérieurs ; Réalité virtuelle pour gérer le chantier ; Le BIM pour	21
2	facilitent la gestion des bâtiments existants et du patrimoine ; Jumeaux numériques ; Suivi des matériaux de construction	18
3	Techniques innovantes de suivi des paramètres environnementaux, matériaux structurels ;	15
4	Drones pour la gestion des chantiers de construction ; Démolition ou déconstruction sélective pour la réutilisation de composants ;	14
5	méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité ; Films solaires pour fenêtres ou façades vitrées ; Photovoltaïque et	14
6	Techniques innovantes pour fenêtres ou façades ; Photovoltaïque organique	12
7	intelligents pour fenêtres ou façades ; Photovoltaïque organique	12
8	innovant réutilisation des matériaux de construction existants ; Béton Renforcé Textile (TRC)	12
9	structures en bois d'ingénierie; Conception pour le démontage et la réutilisation ; Démolition ou déconstruction sélective	12
10	réutilisation pour la réutilisation des composants ; Rénovation par la conception pour l'adaptabilité/flexibilité/changement ;	12
11	photovoltaïque structural et non structural avec des pourcentages élevés de granulats recyclés issus de la construction	11
12	Jumeaux numériques et déchets de démolition (béton et briques) ; Cadres externes contreventés en acier équipés de technologies avancées	dix
13	jardins pluviaux pour la protection sismique ; Réalité virtuelle pour gérer le chantier ; jumeaux numériques ; Suivi de	dix
14	Rénovation par la conception pour l'adaptabilité/flexibilité/changement des	dix
15	matériaux et éléments de construction ; Techniques innovantes de surveillance de l'environnement, des matériaux,	dix
16	du chantier ; Méthodologie innovante pour la gestion des chantiers ; Réalité virtuelle pour la gestion de la vulnérabilité	dix
17	IoT pour la gestion des bâtiments	dix
18	Jardins pluviaux ; Solutions de davage ou de scellement ; Toits verts ; Verdissement à l'échelle urbaine ; Sélectif	9
19	démolition ou déconstruction pour la réutilisation de composants ; Suivi des matériaux et éléments de construction ;	9
20	IoT pour un espace plus inclusif ; Drones pour la gestion des chantiers, des bâtiments existants et	9
21	territoires ; Méthodologie multidisciplinaire innovante pour l'évaluation de la vulnérabilité ; Énergie renouvelable	9
22	Béton renforcé texturé (RTR) innovant pour la gestion de matériaux naturels ; Énergie	8
23	dans des réservoirs de davage ou de scellement	8
24	Isolation extérieure et intérieure des bâtiments existants et neufs avec des matériaux biosourcés	8

Cible	Technologie ou méthodologie	Nombre de Ts/Mme
Bâtiments 2023, 13, x POUR EXAMEN PAR LES PAIRS	Agriculture hors sol : Le BIM pour faciliter la gestion des bâtiments existants et du patrimoine ; jumeaux numériques ; IoT pour la gestion des bâtiments ; IoT pour un espace plus inclusif ; Détection et maintenance des pannes prévisions – systèmes CVC	6 25 sur 31

TECHNOLOGIES/METHODOLOGIES	ACTIONS	OBJECTIVES	CHALLENGES
• Tracking of building materials and elements • Selective demolition or deconstruction for the reuse of components • Digital Twins	• Protecting heritage and other built resources		
• Design for remanufacture/optimisation since building buildings and buildings	• Improving the circular management of material resources		
• Innovative digital tools for material performance	• Reducing exploitation of natural capital	• Material resources sustainable management in a non-toxic, circular and regenerative economy	
• Transdisciplinary innovative methodology for multidisciplinary assessment	• Improving resource-use efficiency in construction		
• Design for disassembly and reuse			
• Organic photovoltaic	• Increasing the performance of buildings envelope		
• Rain garden			
• Innovation through Design for Disassembly (DfD) and DfR	• Optimising construction and demolition waste management	• Decarbonisation	• Environmental challenges
• Circular economy for material lifecycle	• Improving ambient air quality and/or pollutants absorption		
• BIM for lifecycle system of buildings and heritage management	• Increasing efficiency of installations		
• DfD for buildings management	• Monitoring the vulnerabilities of the natural and built environment	• Strengthening resilience and adaptive capacity to climate-related hazards and natural disasters	
• DfD for a new building's space	• Reducing seismic vulnerability of existing buildings		
• Green roofs	• Using bio-based materials and interfaces	• Zero pollution	
• Green facades	• Optimising the building site management		• Energy transition
• Depositing or de-sealing solutions	• Reducing heat island effect	• Protection and safeguarding of world's cultural and natural heritage	
• Internal and external degradation of existing and new buildings with their materials	• Guaranteeing human independence, safety and well-being	• Protection, sustainable management and restoration of ecosystems and natural resources	
• Structural and non-structural measures for seismic safety (ductility and ductility)	• Improving biodiversity		
• Mobile flowerbeds	• Increasing use of renewables		
• Greening in urban scale	• Increasing water collection (rain off-roofing)	• Quality, reliable, sustainable and resilient human settlements	
• High-through engineered wood structures	• Increasing soil permeability		• Climate change adaptation
• Microclimate and green chemistry products	• Using non-energy intensive materials		
• Remote built-building projects	• Letting micro- and small-scale distribution grids for renewables		
• Natural	• Local sourcing of building materials and elements		
• Renewable energy sources integrated in smart grids	• Mitigating the overheating effects		
• Above-ground forests	• Reducing use of chemicals in construction materials		
• Thermoelectricity (TE) for power generation and climate with high performance	• Improving indoor air quality		
• Repair and repair systems for information on mobility	• Promoting re-forestation/afforestation and arboreal species in urban contexts		
• Reinforced concrete structures integrated PV cells	• Improving water recycling and reuse		
• Photovoltaic panel for external walls			
• Post-climate-fit smart plan for adaptation of facades			
• Sustainable design for new building or renovation/retrofitting			
• Phase Change Materials (PCM) integration into the building envelope			
• Healthy house for the building envelope			
• Heat dissipation and resistance forecast - HVAC systems			
• Solar films for cladding for windows or facade			

Le tableau 11 résume les technologies et méthodologies pertinentes pour le jour. Ils sont classés selon l'ordre décroissant utilisé pour le premier diagramme (Figure 7), bien qu'il ne s'agisse pas d'un classement ni lié à un degré d'efficacité.

Tableau 11. Liste des technologies et méthodologies actuellement liées au défi numérique.

Le nombre de technologies ou de méthodologies qui utilisent des systèmes numériques, ou

Tableau 11. Suite

Technologie ou méthodologie
Modélisation des informations du bâtiment pour faciliter la gestion des bâtiments existants et du patrimoine
Façades à conception paramétrique pour construction neuve ou rénovation (revêtement)
Détection de pannes et prévision de maintenance (systèmes CVC)

Le nombre de technologies ou méthodologies qui font appel à des systèmes numériques, ou qui sont numériques en soi de par leurs modalités de mise en œuvre, correspond aux 26% du total identifié.

4. Discussion

A partir de la base de données des résultats, représentée graphiquement par le schéma de la figure 7, il est possible de définir (tableau 9) un classement des 38 solutions, répertoriées selon leur efficacité à relever les défis à travers les actions qu'elles soutiennent et les objectifs . ils contribuent à atteindre. Il convient de noter que le résultat graphique prend également en compte les quatre cibles (enveloppe, structure, espace urbain, espace intérieur), car le classement des technologies/ méthodologies est également affecté par le nombre de cibles que chaque action pourrait atteindre. La cible la plus adressée par les technologies et méthodologies est l'enveloppe [E], suivie de la structure [S], de l'espace urbain [U] et de l'espace intérieur [I]. De nombreuses solutions identifiées sont classées ex aequo : cela est dû à la gamme limitée d'actions soutenues (entre 3 et 10 par technologie/méthodologie) et d'objectifs abordés (entre 1 et 3 par solution). L'ordre des trois défis révèle que les défis environnementaux sont ceux auxquels les solutions identifiées sont le plus confrontées, suivis de la transition énergétique et de l'adaptation au changement climatique. Cela dépend du nombre total d'actions soutenant indirectement les défis. Le tableau 9 montre que dans un seul cas, une technologie ou une méthodologie prend en charge plus de 20 actions (incluses) ; 11 solutions prennent en charge un nombre d'actions compris entre 10 (inclus) et 20 ; 26 solutions prennent en charge moins de 10 actions.

Les solutions les plus prometteuses sont le « Tracking des matériaux et éléments de construction » et la « Démolition ou déconstruction sélective pour la réutilisation des composants », les deux premières méthodologies du classement soutenant un très grand nombre d'actions (respectivement 21 et 18), contribuant à la transition énergétique. et Défis environnementaux, et couvrant trois cibles chacune (enveloppe ; structure ; espace urbain). La solution suivante dans le classement est la « Méthodologie transdisciplinaire innovante pour l'évaluation de la vulnérabilité », qui a atteint la troisième position en soutenant 15 actions, contribuant aux défis environnementaux et à l'adaptation au changement climatique, et abordant trois cibles (Enveloppe ; Structure ; Espace urbain). Ces trois premières positions dénotent comment les concepts de durabilité, de préservation de l'environnement et d'adaptation au changement climatique sont de plus en plus liés aux opérations centrées sur les bâtiments existants, qu'ils soient destinés à être préservés ou démolis, compris dans leur valeur de ressources culturelles et/ou matérielles. Il n'est donc pas surprenant que, concernant différents domaines thématiques et traitant de la gestion de processus complexes, ce soient les méthodologies opérationnelles, plutôt que les technologies, qui occupent la première place. Cette perspective apparaît également en examinant l'ensemble de la liste : sept méthodologies sur 10 soutiennent entre 10 et 21 actions et sont classées entre la première et la septième place, confirmant

Une autre observation révèle que les solutions les plus prometteuses ne sont pas innovantes en soi, ni spécifiquement conçues dans le seul but de contribuer à relever les défis environnementaux. Au contraire, elles peuvent être décrites comme des méthodologies créées à l'origine pour soutenir les processus de construction et de conception à d'autres fins, telles que l'optimisation des chantiers, la mise en œuvre de stratégies minières urbaines, la gestion efficace des matériaux de construction et la sécurisation et la préservation du patrimoine. Néanmoins, les résultats soulignent que leurs bénéfices concernent également les questions environnementales et énergétiques, rendant ces solutions particulièrement efficaces pour soutenir l'évolution durable de l' environnement bâti et du secteur de la construction, précisément en raison de leur large potentiel d'ap Cela montre également à quel point le secteur italien de la construction, traditionnellement lent à absorber,

L'innovation technologique, pour des raisons à la fois opérationnelles et culturelles, consiste à utiliser de manière originale et alternative des technologies, des techniques et des procédures traditionnelles et déjà consolidées.

L'application étendue des solutions en soutenant les actions n'est pas la seule raison déterminant le classement. Le nombre de cibles abordées influence également l'efficacité des technologies et des méthodologies. C'est probablement la raison pour laquelle toutes les entrées appartenant à la stratégie « Solutions passives pour les bâtiments » sont placées dans la partie inférieure de la liste, ainsi qu'un nombre élevé d'entrées appartenant à la stratégie « Sources et installations d'énergies renouvelables » - à l'exception des filières organiques. technologie photovoltaïque. En fait, la plupart de ces solutions ne concernent qu'une seule cible - l'enveloppe du bâtiment ou l'espace intérieur - et sont en outre des technologies destinées à résoudre strictement un problème et non conçues pour entreprendre un processus complexe.

D'après le schéma alluvial représenté à la figure 8, la digitalisation ne concerne aujourd'hui que 10 solutions (trois méthodologies et sept technologies). Plusieurs remarques peuvent découler de l'analyse du schéma :

- Bien que la plupart des

solutions faisant appel à des processus ou dispositifs numériques soient des technologies, les pourcentages sont en ligne avec l'ensemble. Par conséquent, les technologies et les méthodologies semblent adaptées pour contribuer à relever le défi numérique, tout en favorisant l'innovation durable dans l'environnement bâti. • L'adoption de la numérisation semble être répartie uniformément le long du diagramme, ce qui implique que le classement d'efficacité (déterminé en fonction des actions et des objectifs) n'affecte pas le potentiel d'utilisation des processus numériques.

- Les trois défis sont abordés par des technologies ou des méthodologies qui concernent également le défi numérique, sans qu'aucune préférence ne se dégage. La digitalisation s'avère ainsi être un levier transversal pour soutenir les objectifs liés à la transition énergétique, aux défis environnementaux et à l'adaptation au changement climatique.

Une observation critique qui découle des résultats est celle concernant leur étroite dépendance aux méthodes qualitatives adoptées. La collecte et l'interprétation des données sont strictement déterminées par les éléments (objectifs et actions) considérés pour établir les corrélations entre les quatre défis, d'une part, et les technologies innovantes et les méthodologies opérationnelles, d'autre part. En fait, les objectifs et les actions identifiés dans cette enquête ne sont ni univoques ni complets. En ce qui concerne les objectifs, ils découlent des politiques spécifiques examinées, qui ont été choisies en fonction des objectifs de l'ensemble du projet de recherche - en fin de compte, soutenir la transformation de l'environnement bâti et des secteurs du bâtiment sur le territoire du Nord-Est italien, en augmentant sa durabilité et sa réhabilitation. -silence. Bien que cela puisse être considéré comme un facteur discrétionnaire, cela représente une grande force de la méthodologie développée : sa reproductibilité en tant qu'approche multidisciplinaire consciente du champ géographique d'application. Concernant les actions, leur choix dépend strictement du savoir-faire des chercheurs, et elles ne doivent pas être considérées comme une liste complète et définie, mais plutôt comme une collection à intégrer.

Le choix de s'appuyer sur le savoir-faire et l'expérience disciplinaires des chercheurs impliquait que les solutions identifiées concernaient leurs propres domaines d'intérêt et, avec un regard critique, on peut affirmer qu'elles manquent d'une perspective plus globale ou d'aspects innovants. Outre les bénéfices déjà soulignés d'une approche multidisciplinaire, ce choix a conforté trois autres retombées positives, illustrées ici :

- Les solutions émergentes sont transversales

non seulement en termes de domaines d'études, mais également en termes d'échelle d'application (d'un point de vue spécifique). (aspect constructif à la zone urbaine) et des cibles potentielles du parc immobilier (de la restauration à la nouvelle construction). •

Étant donné que les chercheurs impliqués disposent d'une connaissance consolidée sur le territoire du nord-est italien, leur enquête était en ligne avec les caractéristiques, les criticités et les besoins des constructions et des zones urbaines. En ce sens, la suggestion de technologies et de méthodologies a pris en compte leur potentielle facilité de mise en œuvre, en évitant de se concentrer sur des solutions spécifiques discutées dans la littérature actuelle qui, bien qu'innovantes ou efficaces, pourraient ne pas être appropriées à l'environnement bâti ciblé.

- L'étape d'identification a également bénéficié des interactions avec les parties prenantes que les chercheurs ont mises en œuvre au fil du temps, permettant aux solutions proposées d'être en adéquation avec la chaîne d'approvisionnement locale existante. À partir de là, les résultats de l'enquête pourraient guider les secteurs de production et les PME du Nord-Est vers l'innovation de leurs technologies et produits actuels. Au contraire, adopter une perspective plus détachée du territoire n'aurait pas pris en compte cet aspect spécifique du site, conduisant à des solutions étrangères à la chaîne d'approvisionnement locale actuelle.

5. Conclusions

Les recherches décrites dans cette contribution ont été réalisées dans le cadre du projet « Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem » (iNEST) financé par NextGenEU à travers la Facilité nationale italienne pour la reprise et la résilience (NRRF). L'objectif général d' iNEST est d'élaborer un plan stratégique pour le développement des secteurs de la construction et de la conception durable dans le nord-est de l'Italie. L'objectif de l'enquête décrite, réalisée par une équipe de recherche multidisciplinaire coordonnée par les auteurs, est de proposer des technologies innovantes et des méthodologies opérationnelles (T/M) capables de favoriser l'évolution durable de l'environnement bâti et du secteur de la construction. De telles solutions devraient spécifiquement agir dans quatre domaines thématiques clés reconnus comme stratégiques par le programme de recherche : Transition énergétique (TE) ; Défis environnementaux (CE) ; Adaptation au changement climatique (ACC) ; et Numérisation (D).

L'article décrit en profondeur comment un cadre de recherche conceptuel a été spécifiquement conçu pour atteindre l'objectif de la tâche, un instrument reproductible à la fois en tant que méthodologie et, s'il est appliqué dans des contextes territoriaux similaires, pour les résultats obtenus. Après avoir illustré le développement et les caractéristiques de la méthodologie, la contribution décrit les résultats obtenus par son application : • Une définition des quatre enjeux (ET, EC, CCA, D) à la lumière

de l'environnement bâti et du secteur de la construction. • Un cadre de recherche conceptuel conçu pour connecter les technologies et méthodologies

innovantes et les défis, un lien identifié à travers les actions mises en œuvre par le T/M et les objectifs que les actions contribuent à atteindre.

- Une liste préliminaire de technologies innovantes et de méthodologies opérationnelles soutenant l'innovation durable dans l'environnement bâti du nord-est italien et la construction.

secteur du commerce.

- Un classement des solutions les plus prometteuses selon leur degré de contribution à la résolution des enjeux, considérant également leur application potentielle à une ou plusieurs cibles liées à l'environnement bâti (espace intérieur, espace urbain, enveloppe, structure) et leur contribution actuelle à numérisation.

De plus, de l'analyse des résultats, plusieurs observations ressortent : • Dans le contexte étudié, le potentiel pour relever les quatre défis réside principalement dans l'application originale d'une technologie ou d'une méthodologie existante, plutôt que dans une solution développée ad hoc.

- Les technologies et méthodologies les plus efficaces pour assurer la durabilité et la résilience sont celles qui fonctionnent dans l'environnement bâti en préservant le bâti. ressources.

- La numérisation s'avère être un catalyseur même transversal, plutôt qu'un défi en soi.

Néanmoins, plusieurs améliorations pourraient être apportées dans les prochaines étapes de la recherche :

- La nature qualitative des méthodes implique certains facteurs discrétionnaires. • La liste des technologies et méthodologies identifiées ne doit pas être considérée comme un catalogue exhaustif de solutions, mais plutôt comme un travail en cours à mettre en œuvre et enrichi par un processus continu qui sera soutenu par la communauté de recherche. • Bien que le tissu productif local existant ait été pris en compte dans l'identification des solutions, les coûts n'ont pas été examinés : des investigations plus approfondies pourraient être menées pour améliorer l'efficacité des résultats.

La contribution illustre une enquête qui représente la première phase d'une recherche en cours qui, bien que sujette à des améliorations, élabore et utilise une méthodologie originale. Sa reproductibilité réside à la fois dans le fait qu'il s'agit d'un instrument utile pour d'autres recherches multidisciplinaires et dans son application potentielle à des contextes similaires, comme moyen de fournir une innovation durable dans l'environnement bâti et le secteur de la construction en soutenant la recherche et la prise de décision en matière de production.

Documents supplémentaires : Les informations complémentaires suivantes peuvent être téléchargées sur : <https://www.mdpi.com/article/10.3390/buildings13122920/s1>, Tableau S1 : Cadre de recherche conceptuel résumant les résultats de l'application de la méthodologie au contexte du Nord-Est italien ; Figure S1 : Diagramme alluvial illustrant la relation entre les cibles, les solutions, les actions, les objectifs et les défis, en les classant en fonction du nombre d'actions soutenues et de cibles abordées (HQ) ; Tableau S2 : ensemble de données utilisé pour générer le diagramme alluvial représenté à la figure S1 ; Figure S2 : Schéma alluvial illustrant la relation entre les technologies et méthodologies identifiées et l'enjeu numérique transversal (HQ) ; Tableau S3 : Ensemble de données utilisé pour générer le diagramme alluvial représenté à la figure S2.

Contributions des auteurs : Conceptualisation, MC et EZ ; méthodologie, MC et EZ ; logiciels, RR et MC ; validation, EZ, MC et RR ; analyse formelle, EZ, MC, RR et VT ; enquête, EZ, MC et RR ; rédaction – préparation du projet original, EZ ; rédaction : révision et édition, EZ, MC, RR et VT ; visualisation, RR ; surveillance, MC ; administration du projet, MC Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement : Cette recherche et l'APC ont été financées par RFF NextGenEU, numéro de subvention ECS00000043—CUP F43C22000200006, à travers le Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) italien, Mission 4 « Éducation et recherche », Composante 2, Investissement 1.5, Interconnecté Nord- Est Innovation (iNEST) Ecosystem, Spoke 4 (coordinateur de recherche : L. Fabian).

Déclaration de disponibilité des données : Les données présentées dans cette étude sont disponibles dans les documents supplémentaires.

Remerciements : Les auteurs remercient les professeurs et chercheurs de l'Università degli Studi di Udine et de l'Università degli Studi di Trieste impliqués dans l'équipe de recherche d'iNEST RT1.3.

Conflits d'intérêts : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts. Les bailleurs de fonds n'ont joué aucun rôle dans la conception de l'étude ; dans la collecte, l'analyse ou l'interprétation des données ; dans la rédaction du manuscrit ; ou dans la décision de publier les résultats.

Les références

1. Centro di Ricerca di Mercato, Servizi per Chi Opera Nel Mondo delle Costruzioni e dell'Edilizia (CRESME). XXXIV Rapport Crème congiunturale et prévisionnelle : Le marché des constructions 2023-2026 ; CRESME : Rome, Italie, 2022.
2. Michalina, D. ; Mederly, P. ; Diefenbacher, H. ; Held, B. Développement urbain durable : examen des cadres d'indicateurs de durabilité urbaine. *Durabilité* 2021, 13, 9348. [\[CrossRef\]](#)
3. Cohen, M. Une revue systématique de la littérature sur l'évaluation de la durabilité urbaine. *Durabilité* 2017, 9, 2048. [\[CrossRef\]](#)
4. Grafakos, S. ; Gianoli, A. ; Tsatsou, A. Vers le développement d'une évaluation intégrée des avantages en matière de durabilité et de résilience Cadre d'interventions pour la croissance verte urbaine. *Durabilité* 2016, 8, 461. [\[CrossRef\]](#)
5. Cepeliauskaite, G. ; Stasiskiene, Z. Le cadre des principes de développement et de fonctionnement durables des écosystèmes urbains . *Durabilité* 2020, 12, 720. [\[CrossRef\]](#)
6. Omer, M. ; Noguchi, T. Un cadre conceptuel pour comprendre la contribution des matériaux de construction à la réalisation des objectifs de développement durable. *Soutenir. Villes Soc.* 2020, 52, 101869. [\[Réf. croisée\]](#)
7. Larco, N. Conception urbaine durable : un cadre (projet). *J. Urban Des.* 2016, 21, 1-29. [\[Référence croisée\]](#) 8. Ardiani, M. ; Shateri, M. Cadre conceptuel pour la conception durable. *Spéc. J. Archit. Constr.* 2018, 4, 15-24.
9. Sibilla, M. ; Manfren, M. Envisager le bâtiment comme service énergétique dans le contexte européen. D'une revue de littérature à un cadre conceptuel. *Archit. Ing. Des. Gérer.* 2022, 18, 495-520. [\[Référence croisée\]](#)
10. Cole, LB Alphabétisation en matière de construction écologique : un cadre pour faire progresser l'éducation en matière de construction écologique. *Int. J. STEM Educ.* 2019, 6, 18. [\[Réf. croisée\]](#)
11. Bout, AN ; Dimitrijević, B. Collaboration multidisciplinaire et transdisciplinaire dans la conception basée sur la nature de projets durables Architecture et urbanisme. *Durabilité* 2022, 14, 10339. [\[CrossRef\]](#)
12. Sposito, C. ; Scalisi, F. Réflexions et trajectoires pour des recherches interdisciplinaires sur la transition écologique. *AGATHON* 2023, 13, 3-18. [\[Référence croisée\]](#)

13. Bolger, P. Tenir la promesse : Comment les instituts de recherche sur le développement durable permettent-ils la recherche interdisciplinaire ? Int. J. Soutenir. Haut. Educ. 2021, 22, 167-189. [\[Référence croisée\]](#)
14. Lawrence, RJ Déchiffrer les contributions interdisciplinaires et transdisciplinaires. Transdiscipl. J. Ing. Sci. 2010, 1, 111-116. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
15. Rigolot, C. La transdisciplinarité comme manière d'être : une nouvelle perspective sur l'engagement personnel pour les transformations durables. Transdiscipl. J. Ing. Sci. 2022, SP-1, 13-16. [\[Référence croisée\]](#)
16. Moki, V. ; Lukyanova, T. Développement durable de la nature et de la société dans le contexte d'un paradigme transdisciplinaire systémique. Transdiscipl. J. Ing. Sci. 2022, SP-3, 15-35. [\[Référence croisée\]](#)
17. Lawrence, RJ Being Human : Repenser l'adaptation et la résilience. Transdiscipl. J. Ing. Sci. 2022, SP-3, 111-128. [\[Référence croisée\]](#)
18. Vettore, M. ; Donà, M. ; Carpanese, P. ; Follador, V. ; da Porto, F. ; Valluzzi, MR Une procédure multinationale à l'échelle urbaine pour évaluer la vulnérabilité et l'exposition des bâtiments résidentiels en maçonnerie : l'étude de cas de Pordenone, nord-est de l'Italie. Patrimoine 2020, 3, 1433-1468. [\[Référence croisée\]](#)
19. Commission européenne (CE), Direction générale de l'énergie. Une énergie propre pour tous les Européens ; Office des publications de l' Union européenne : Luxembourg, 2019 ; Disponible en ligne : <https://data.europa.eu/doi/10.2833/9937> (consulté le 22 septembre 2023).
20. Parlement européen. Décision (UE) 2022/591 du 6 avril 2022 relative à un programme d'action général de l'Union pour l'environnement à l'horizon 2030 ; JOUE L 114/22 ; Parlement européen : Strasbourg, France, 2022.
21. Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). le PNUE en 2022 ; Programme des Nations Unies pour l'environnement : Nairobi, Kenya, 2023.
22. Commission européenne (CE). Le pacte vert européen ; COM(2019)640 ; Commission européenne : Luxembourg, 2019.
23. Commission européenne (CE). Une stratégie hydrogène pour une Europe climatiquement neutre ; COM(2020)301 ; Commission européenne : Luxembourg, 2020.
24. Commission européenne (CE). Alimenter une économie neutre pour le climat : une stratégie de l'UE pour l'intégration du système énergétique ; COM(2020)299 ; Commission européenne : Luxembourg, 2020.
25. Commission européenne (CE). Unis pour réaliser l'union de l'énergie et l'action climatique – jeter les bases d'une politique propre réussie Transition énergétique ; COM(2019)285 ; Commission européenne : Luxembourg, 2019.
26. Parlement européen (PE). Loi européenne sur le climat ; Règlement (UE) 2021/1119 ; Parlement européen : Strasbourg, France, 2021.
27. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Annexe II : Glossaire. Dans Changement climatique 2022 : impacts, adaptation et vulnérabilité : contribution du groupe de travail II au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ; Pörtner, H.-O., Roberts, DC, Tignor, M., Poloczanska, ES, Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V. , et al., éd.; Cambridge University Press : Cambridge, Royaume-Uni ; New York, NY, États-Unis, 2022.
28. Agence européenne pour l'environnement (AEE). L'environnement européen – État et perspectives 2020 : Connaissances pour la transition vers un environnement durable L'Europe ; Office des publications de l'Union européenne : Luxembourg, 2019.
29. Assemblée des Nations Unies du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Déclaration ministérielle de l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement à sa cinquième session : Renforcer les actions en faveur de la nature pour atteindre les objectifs de développement durable ; UNEP/EA.5/HLS.1 ; PNUE : Nairobi, Kenya, 2022.
30. Commission européenne (CE). Plan stratégique 2020-2024 DG ENVIRONNEMENT ; Réf. Ares(2020)4902415 ; Commission européenne : Luxembourg, 2020.
31. Commission européenne (CE). Un nouveau plan d'action pour une économie circulaire pour une Europe plus propre et plus compétitive ; COM(2020)98 ; européen Commission : Luxembourg, 2020.
32. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Annexe II : Glossaire. Dans Changement climatique 2014 : Rapport de synthèse : Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ; Équipe de rédaction principale, Pachauri, RK, Meyer, LA, Eds. ; GIEC : Genève, Suisse, 2014.
33. Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Les sujets. Disponible en ligne : <https://unfccc.int/topics/adaptation-et-résilience/vue-d'ensemble/introduction> (consulté le 22 septembre 2023).
34. Nations Unies (ONU). Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques ; FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62220 (F) 200705 ; ONU : New York, NY, États-Unis, 1992.
35. Commission européenne (CE). Forger une Europe résiliente au changement climatique – La nouvelle stratégie de l'UE sur l'adaptation au changement climatique ; COM (2021)82 ; Commission européenne : Luxembourg, 2021.
36. Commission européenne (CE), Direction générale de l'action pour le climat. Orientation technique au niveau de l'UE sur l'adaptation des bâtiments au changement climatique ; Office des publications de l'Union européenne : Luxembourg, 2023 ; Disponible en ligne : <https://data.europa.eu/doi/10.2834/55 8395> (consulté le 22 septembre 2023).
37. Dictionnaire en ligne Britannica (BOD). Numérisez. Disponible en ligne : <https://www.britannica.com/dictionary/digitise> (consulté le 22 septembre 2023).
38. Dictionnaire en ligne Cambridge (COD). Numérisation. Disponible en ligne : <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/ numériser?q=numérisation> (consulté le 22 septembre 2023).
39. Dictionnaire en ligne d'Oxford (OOD). Numérisation. Disponible en ligne : <https://www.oed.com/view/Entry/242061> (consulté le 22 septembre 2023).
40. Comité européen des équipements de construction (CECE). Digitaliser le secteur de la construction. Libérer le potentiel des données avec une approche de chaîne de valeur. 2019. Disponible en ligne : <https://www.cece.eu/publications/digital-reports> (consulté le 22 septembre 2023).

41. Conseil de l'Union européenne (CEU). Annexe RÉVISÉE à la DÉCISION D'EXÉCUTION DU CONSEIL relative à l'approbation du Évaluation du plan de relance et de résilience pour l'Italie ; 2021/0168 (NLE); CEU : Vienne, Autriche, 2021.
42. Commission européenne, Observatoire européen du secteur de la construction (ECSC). Digitalisation dans le secteur de la construction : analytique Rapport; Réf. Ares(2021)2699252 — 22/04/2021 ; ECSC : Roßdorf, Allemagne, 2021.
43. Commission européenne (CE). Annexe 1 de la décision d'exécution de la Commission relative au financement du programme pour une Europe numérique et à l'adoption du programme de travail pour 2023-2024 et modifiant la décision d'exécution C(2021) 7914 de la Commission relative à l'adoption du programme de travail pluriannuel pour 2021-2022 ; Réf. C(2023)1862 Final ; Commission européenne : Luxembourg, 2023.
44. EURACTIV. Numériser le secteur de la construction de l'UE. Rapport du Manifeste janvier-mars. 2019 (Document en ligne). 2019. Disponible en ligne : https://www.euractiv.com/section/digital/special_report/digitising-the-eus-construction-industry/ (consulté le 22 septembre 2023).
45. Commission européenne (CE), Agence exécutive pour les petites et moyennes entreprises. Soutenir la numérisation du secteur de la construction et des PME : y compris la modélisation des informations sur le bâtiment ; Office des publications de l'Union européenne : Luxembourg, 2019 ; Disponible en ligne : <https://data.europa.eu/doi/10.2826/422658> (consulté le 22 septembre 2023).
46. Commission européenne (CE). Manuel de croissance de la maturité numérique pour les PME de la construction (document en ligne). 2023. Disponible en ligne : <https://digital-construction.ec.europa.eu/handbook> (consulté le 22 septembre 2023).
47. Présidence italienne du Consiglio dei Ministri. Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. #NextGenerationItalia ; 2023. Disponible en ligne : <https://www.governo.it/it/approfondimento/le-missioni-e-le-componenti-del-pnrr/16700> (consulté le 22 septembre 2023).
48. Nations Unies (ONU). Résolution adoptée par l'Assemblée générale le 25 septembre 2015 70/1. Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030. A/RES/70/1. Disponible en ligne : https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf (consulté le 22 septembre 2023).

Avis de non-responsabilité/Note de l'éditeur : Les déclarations, opinions et données contenues dans toutes les publications sont uniquement celles du ou des auteurs et contributeurs individuels et non de MDPI et/ou du ou des éditeurs. MDPI et/ou le(s) éditeur(s) déclinent toute responsabilité pour tout préjudice corporel ou matériel résultant des idées, méthodes, instructions ou produits mentionnés dans le contenu.