APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 2847_V2

(Annule et remplace la 2847_V1)

ATEx de cas a

Validité du 14/10/2020 au 14/10/2024

Copyright : Société TECNOSTRUTTURE

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur. *(extrait de l'art. 24)*

A LA DEMANDE DE :

TECNOSTRUTTURE SRL

Via Meucci 26, 30020 Noventa di Piave (VE) Italy

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2847_V2

<u>Note Liminaire</u> : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé d'Assemblage poutres préfabriquées NPS® Basic / Cls et poteaux préfabriqués PTC® conçu pour les charges de gravité.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 14/10/2020, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEx ci-dessous définie :

- demandeur : Société TECNOSTRUTTURE SRL
- technique objet de l'expérimentation : Assemblage poutres préfabriquées NPS® Basic / Cls et poteaux préfabriqués PTC® conçu pour les charges de gravité
    - le procédé est un système constructif autoportant, composé de poutres constituées de treillis raidisseurs en acier soudé, de poteaux mixtes acier-béton et d'assemblages poteau-poutre ;
    - les éléments préfabriqués peuvent soutenir leur propre poids et le poids des dalles sans aucun support provisoire pendant la phase de durcissement du béton ;
    - le système est conçu pour supporter des charges de gravité. Il n'est destiné à reprendre les charges sismiques ni les charges horizontales dues au vent.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEx 2847_V2 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

*<u>Remarque importante</u> : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au **14 10 2024**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulés aux § 5.*

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) <u>Sécurité</u>

1.1 – Stabilité des ouvrages

En phase provisoire :

- La vérification des poteaux, dans leur section courante, vis-à-vis de la flexion est menée suivant la norme NF EN 1992-1-1. La stabilité de l'assemblage entre étages est vérifiée suivant la NF EN 1993-1-1.
- La vérification de la poutre vis-à-vis de la flexion, du cisaillement et de la flèche est mené suivant la NF EN 1993-1-1. La vérification de la contrainte locale dans la tôle de base en acier est effectuée conformément à la NF EN 1993-1-1. Pour les poutres équipées d'un socle en béton (NPS Cls), la vérification de la base en béton en porte-à-faux contre la dalle est menée suivant la NF EN 1992-1-1.

En phase définitive :

- La vérification des poteaux vis-à-vis de la flexion, de l'effort tranchant et du risque de fissuration est menée suivant la NF EN 1992-1-1. La vérification des plats d'assemblage entre étages est effectuée conformément à la NF EN 1993-1-1. La section minimale de la soudure des barres à la plaque est vérifiée conformément à la NF EN 1993-1-8. La vérification de scellement des ancrages à la fondation est menée suivant le tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8 (traction et cisaillement) et le tableau 8.2 de la NF EN 1992-1-1 (adhérence des ancrages).
- La vérification de la poutre vis-à-vis de la flexion, du cisaillement et de la flèche est mené suivant la NF EN 1994-1-1. Pour les poutres avec un socle inférieur en béton, l'ouverture de la largeur de la fissure est vérifiée comme il est recommandé dans la NF EN 1994-1-1, qui renvoie à la norme EN 1992-1-1. L'applicabilité de cette évaluation aux poutres NPS® Cls a été vérifiée expérimentalement.

Moyennant ces vérifications, la stabilité des ouvrages est assurée.

1.2 – Sécurité des intervenants

La sécurité des intervenants est considérée comme assurée à condition de respecter les prescriptions décrites au cahier des charges annexé au présent document pour la manutention et l'installation des éléments préfabriqués.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

La résistance au feu du poteau est évaluée par la méthode analytique selon la NF EN 1992-1-2. La résistance au feu de la poutre est calculée analytiquement suivant la NF EN 1992-1-2 pour les poutres avec socle en béton, et suivant la EN 1994-1-2 sinon.

1.4 – Sécurité en cas de séisme

Le procédé est conçu pour supporter des charges de gravité. Il peut être appliqué dans des constructions antisismiques si la résistance aux efforts horizontaux est assurée par d'autres éléments structurels comme des murs de contreventement. Dans ce cas, il est nécessaire de vérifier que les déplacements, induits par les actions sismiques et la rigidité du système de contreventement, sont compatibles avec les poteaux PTC.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

L'assemblage des parties en acier est effectué en usine de Noventa di Piave en Italie. La fabrication des poutres et poteaux préfabriqués est effectuée dans l'usine de Monselice en Italie. Les deux usines bénéficient d'un certificat de conformité du contrôle de la production en usine. La production de produits convenables est ainsi très probable.

2.2 – Mise en œuvre :

La mise en œuvre ne pose pas de problème particulier. Elle est effectuée, conformément aux prescriptions du comité d'experts, exclusivement par le titulaire du système.

3°) Risques de désordres

Le procédé ne présente pas de risque de désordres particuliers. Les risques de désordre peuvent être considérés comme minimes.

4°) Recommandations

Il est recommandé de :

- produire un document synthétique du cahier des charges décrivant la méthodologie de dimensionnement pour chacun des éléments du procédé ;
- établir un Plan Assurance Qualité (PAQ) de mise en œuvre contenant des tolérances, les écarts, les corrections des écarts etc.

5°) Rappel

Le demandeur devra communiquer au CSTB, au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé, précisant l'adresse du chantier, le nom des intervenants concernés, les contrôles spécifiques à réaliser et les caractéristiques principales à la réalisation.

EN CONCLUSION

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est réelle,
- Les désordres sont minimes.

Champs sur Marne,
Le Président du Comité d'Experts,

Ménad CHENAF

Le présent document comporte 5 pages dont deux annexes ; il ne peut en être fait état qu'in extenso.

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société TECNOSTRUTTURE SRL
Via Meucci 26
30020 Noventa di Piave (VE) Italy

Définition de la technique objet de l'expérimentation : Assemblage poutres préfabriquées NPS® Basic / Cls et poteaux préfabriqués PTC® conçu pour les charges de gravité

- Le système structurel NPS® est un système constructif autoportant, composé de poutres, de poteaux et d'assemblages poteau-poutre. Il est caractérisé par des éléments préfabriqués noyés dans du béton coulé sur place ;
- Le système objet de la présente Appréciation est conçu pour supporter des charges de gravité. Il peut également être appliqué dans des constructions antisismiques si la capacité contre les forces horizontales est assurée par d'autres éléments structurels comme des murs de contreventement ;
- Les poteaux, qui portent le nom commercial de PTC®, sont préfabriqués selon la norme NF EN 13225. Ils sont constitués du béton armé en partie courante, et d'un système d'assemblage métallique entre niveaux soudé aux barres du ferraillage ;
- Les poutres sont constituées d'un ou plusieurs treillis en acier soudés entre eux de manière continue. La membrure inférieure du treillis peut être constituée d'une tôle d'acier (la poutre est alors appelée NPS® Basic) ou incorporée dans un socle en béton armé (la poutre est appelée poutre NPS® Cls). Les structures soudées en acier sont fabriquées conformément à la norme NF EN 1090-1 ;
- Pour l'assemblage des poutres et des poteaux, des renforts supplémentaires (barre d'armature ou treillis supplémentaire) sont disposés afin d'assurer la continuité des poutres et le transfert des forces internes entre les éléments adjacents ;
- Toutes les préparations, assemblages et soudures sont effectués conformément aux dispositions et normes en vigueur, sur lesquelles les ouvriers sont formés et supervisés ;
- En phase provisoire :
  - Les poteaux sont soumis aux charges du poids propre, des éléments soutenus (poutres et dalles) et du béton coulé avant sa prise. Ils sont dimensionnés suivant la NF EN 1992-1-1 pour la section courante et suivant la NF EN 1993-1-1 pour le système d'assemblage entre les niveaux.
  - Les poutres agissent comme un treillis métallique à maille triangulaire et présentent le schéma statique d'une poutre en appui simple. Elles sont dimensionnées suivant la NF EN 1993-1-1. Le socle en béton pour les poutres Cls est vérifié suivant la NF EN 1992-1-1.
- En phase définitive : le béton coulé en place devient un élément collaborant de la structure
  - Le schéma statique du poteau ne change pas par rapport à la phase provisoire.
  - Les conditions limites des poutres changent : une poutre à simple appui devient une poutre continue à travers le poteau (grâce aux renforts supplémentaires et au béton coulé dans l'assemblage entre la poutre et le poteau). Le dimensionnement est réalisé suivant la NF EN 1994-1-1.

La résistance au feu est calculée analytiquement selon les normes en vigueur en fonction des matériaux constitutifs de l'élément.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 2847_V2 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 50 pages.

Procédé de Assemblage poutres préfabriquées NPS® Basic / Cls et poteaux préfabriqués PTC® conçu pour les charges de gravité

« Dossier technique établi par le demandeur »

Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Datée du 05 08 2020

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEx 2847_V2.

RAPPORT TECHNIQUE n° 02

Rév. E du 5 août 2020

Assemblage poutres préfabriquées NPS® Basic / Cls et poteaux préfabriqués PTC® conçu pour les charges de gravité

©Copyright Tecnostrutture srl

RAPPORT TECHNIQUE N° 02 ..... **1**

REV. E DU 5 AOUT 2020 ..... **1**

ASSEMBLAGE POUTRES PREFABRIQUEES NPS® BASIC / CLS ET POTEAUX PREFABRIQUES PTC® CONÇU POUR LES CHARGES DE GRAVITE **1**

RAPPORT TECHNIQUE N° 02 : **4**

ASSEMBLAGE POUTRES PREFABRIQUEES NPS® BASIC / CLS ET POTEAUX PTC® CONÇU POUR LES CHARGES DE GRAVITE **4**

1-DESCRIPTION 4
1.1-Informations générales et limites d'application *4*
1.2-Définitions, responsabilités et rôles techniques *4*
1.3-Description du matériel et des composants *6*
1.4-Phase de montage et phase provisoire *12*
2-CARACTERISTIQUES INNOVANTES 17
3-CONCEPTION ET EVALUATIONS 19
3.1-Introduction *19*
3.2-Capacité de charge durant la première phase *21*
3.3-Capacité de charge durant la deuxième phase *25*
3.4-Conception pour la résistance au feu *28*
4-FABRICATION 29
4.1-Références techniques et normatives *29*
4.2-Figures de référence durant la production *30*
4.3-Matériaux et produits à usage structurel *31*
4.4-Procédé de soudage *32*
Informations générales *32*
Caractéristiques du matériau de remplissage *33*
Qualification du procédé de soudage *33*
Inspections du procédé de soudage *34*
Assemblages soudés *35*
4.5-Tolérance et inspections finales du produit fini *37*
Inspections du produit fini *37*
4.6-Documentation technique *39*
Fourniture des documents d'accompagnement *39*
Certification *39*
4.7-Manutention *39*
Exigences d'exercice *39*
4.8-Plan de production et d'assurance qualité *40*
5-PROJETS PRINCIPAUX 46
6-ESSAIS ET RECHERCHE 47
7-ANNEXE 50
Annexe 01 : Manuel d'instructions du système NPS® pour le montage, la manutention, la pose et le réglage du système *50*
Annexe 02 : Livret de certifications de Tecnostrutture *50*
Annexe 03 : Plan de production et de contrôle *50*
Annexe 04 : Poutres mixtes acier-béton en treillis d'acier et béton et assemblage poutre-poteaux pour structures antisismiques : Modélisation, analyse numérique et vérifications expérimentales *50*
Annexe 05 : Système NPS® : poutres mixtes acier-béton en treillis d'acier et béton *50*
Annexe 06 : Essai statique et cyclique sur les éléments d'assemblage mixtes acier-béton entre les poutres en acier et le poteau en béton à haute résistance (HSC) *50*
Annexe 07 : Projets principaux *50*
Annexe 08 : Approbation technique par le bureau central pour les constructions du gouvernement italien (traduction libre) *50*
Annexe 09 : Évaluation de la résistance au feu des structures composites acier-béton appelées système NPS® de Tecnostrutture *50*

©Copyright Tecnostrutture srl

©Copyright Tecnostrutture srl

RAPPORT TECHNIQUE N° 02 :
Assemblage poutres préfabriquées NPS® Basic / Cls et poteaux PTC® conçu pour les charges de gravité

1-DESCRIPTION

1.1-Informations générales et limites d'application

Le système structurel NPS® décrit dans les pages suivantes est un système constructif autoportant, composé de poutres, de poteaux et d'assemblages poteau-poutre. Le système est caractérisé par des éléments préfabriqués noyés dans du béton coulé sur place. Les éléments préfabriqués peuvent soutenir leur propre poids et le poids des dalles sans aucun support provisoire pendant la phase de durcissement du béton (première phase) et ils collaborent avec la post-création du béton coulé sur place (deuxième phase).
Le système structurel est utilisé comme structure porteuse verticale dans les bâtiments et infrastructures civils et industriels.
Les typologies de structures les plus courantes qui peuvent être réalisées sont :

Type de bâtiment	Catégorie (§6.3 EN 1991-1-1)	Configuration géographique	Exposition (§4 EN 206)
Construction résidentielle de 3 à 50 étages	A, B	Tout type	X0, XCi,
Structures de vente au détail	C, D	Tout type	X0, XCi,
Hôpitaux et structures publiques	C	Tout type	X0, XCi,
Hôtels de 3 à 50 étages	B, C	Tout type	X0, XCi,
Bâtiments pour l'industrie et l'agroalimentaire	B, E, F, FL	Tout type	X0, XCi,
Stations de métro	C, F, G	Tout type	X0, XCi,
Parking	F, G	Tout type	X0, XCi,

Le système décrit dans le présent rapport est conçu pour supporter des charges de gravité. Il peut également être appliqué dans des constructions antisismiques si la capacité contre les forces horizontales est assurée par d'autres éléments structurels comme des murs de cisaillement.

1.2-Définitions, responsabilités et rôles techniques

Maitre d'ouvrage / Propriétaire : une personne ou une entreprise qui reçoit les produits, services, etc. de Tecnostrutture ; cette figure juridique est le propriétaire du contrat de fourniture et/ou d'installation avec Tecnostrutture.
En fonction de la situation décrite dans les pages ci-dessous, il peut s'agir d'une entreprise de construction, d'un particulier, d'une société immobilière ou d'une société d'investissement.

Fabricant / Producteur : Personne, groupe ou société qui possède ou gère une usine de fabrication. Dans le cadre de la situation décrite dans les pages ci-dessous, il s'agit de Tecnostrutture srl (propriétaire des solutions de savoir-faire et des industries produisant le système NPS®).

Entreprise de Construction : Groupe de personnes qualifiées qui sont chargées de réaliser une construction civile. Dans le cadre de la situation décrite dans les pages ci-dessous, il pourrait s'agir des

©Copyright Tecnostrutture srl

	mêmes personnes qui s'occupent de la mise en place du système NPS® ou simplement du responsable de toutes les autres activités nécessaires pour livrer le projet fini au maitre d'ouvrage final.
Concepteur Général :	Responsable technique de la construction ; il peut s'agir d'un membre de l'entreprise de construction ou d'une figure professionnelle proche du maitre d'ouvrage.
Chef de Projet	Responsable technique de la conformité du projet pour le maitre d'ouvrage.
Superviseur Technique	Responsable technique pour l'approbation finale de la construction.

Les produits de Tecnostrutture sont mis sur le marché européen (tous les pays faisant partie de l'EEE – Espace Économique Européen) selon le type CE-3b. Cela signifie que les calculs de conception structurelle du composant industrialisé sont à la charge du producteur (Tecnostrutture) ; le projet exécutif est réalisé sur la base de l'exigence d'utiliser le modèle structurel de conception de l'acheteur (fourni par l'ingénieur en chef du projet ou le concepteur général) ou l'hypothèse de conception du fabricant pour satisfaire la commande du maitre d'ouvrage.
Appliquant les forces et la demande structurelle statique et dynamique provenant de la commande, le spécialiste Tecnostrutture réalise le projet exécutif des éléments préfabriqués qui seront soumis au Chef de Projet pour approbation. La documentation de Tecnostrutture comprend les plans des phases exécutives et des sections détaillées montrant les phases de montage les plus délicates. Un briefing de formation pourrait être organisé entre le maitre d'ouvrage et le Concepteur de Tecnostrutture afin de s'assurer que les conditions limites imposées au modèle de calcul structurel sont compatibles avec la technologie NPS® spécifique.

Après l'approbation de la conception exécutive par le maitre d'ouvrage, la production des éléments démarre conformément au CPU de Tecnostrutture, sous la responsabilité du producteur lui-même représenté par le directeur interne de la production de Tecnostrutture.

Après la livraison du produit, la responsabilité de la correcte installation incombe au Chef de Projet désigné par le maitre d'ouvrage. Si la phase de montage est réalisée par le fournisseur, celui-ci produira une déclaration de conformité de la phase conformément au projet approuvé ; l'achèvement des structures avec le coulage de béton (prévu par le projet approuvé Tecnostrutture) relève de la responsabilité du Chef de Projet.

©Copyright Tecnostrutture srl

1.3-Description du matériel et des composants

Les poteaux, qui portent le nom commercial de PTC®, préfabriqués selon la norme EN 13225 et détaillés selon le §10 de la norme EN 1992, sont composés de :

N°	Description de la pièce	Normes de référence pour les matériaux(liste non exhaustive*)
1	Coulage de béton préfabriqué entre les plaques existantes	**EN 206:2016**
2	Plaques inférieure et supérieure en acier (soudées à l'armature interne), fournies afin de relier les poteaux aux fondations ou à d'autres éléments de la poutre ou des poteaux.	**EN 10025-1:2006**
4	Éléments d'appuis d'extrémité (appelé aussi marteau) disposé dans la direction transversale de la poutre et en correspondance de nœud d'appui du treillis. Ces éléments sont constitués des barres d'acier doux de section carrée ou circulaire.	**EN 10025-1:2006**
3	Cage d'armature interne en barres d'acier à haute adhérence.	**EN 10080: 2005**
4	Assemblage soudé intermédiaire à la hauteur de chaque niveau.	**EN 10025-1:2006**

**Le type de matériel peut changer si le producteur adopte des spécifications de procédure de soudage (WPS) de type innovant et s'il existe une norme pour calculer la performance des composants (et des connexions de soudage).*

Le béton préfabriqué peut être de type HSC avec une méthode de production de béton centrifugé ; classe de béton jusqu'à C75/85 selon la norme EN 206:2016.

Le poteau unique peut être préfabriqué sur un ou plusieurs niveaux selon les limites de transport et il est déjà complété grâce à la section béton armé (le temps de durcissement écoulé). La hauteur de chaque niveau peut être choisie en fonction de la destination de l'étage : par exemple, un sous-sol peut avoir un poteau d'1,5 m de long et un hall peut avoir un poteau de 13 m à un seul niveau. Pour les étages inférieurs ou intermédiaires, plusieurs poteaux peuvent être imbriqués dans les limites décrites ci-dessous.

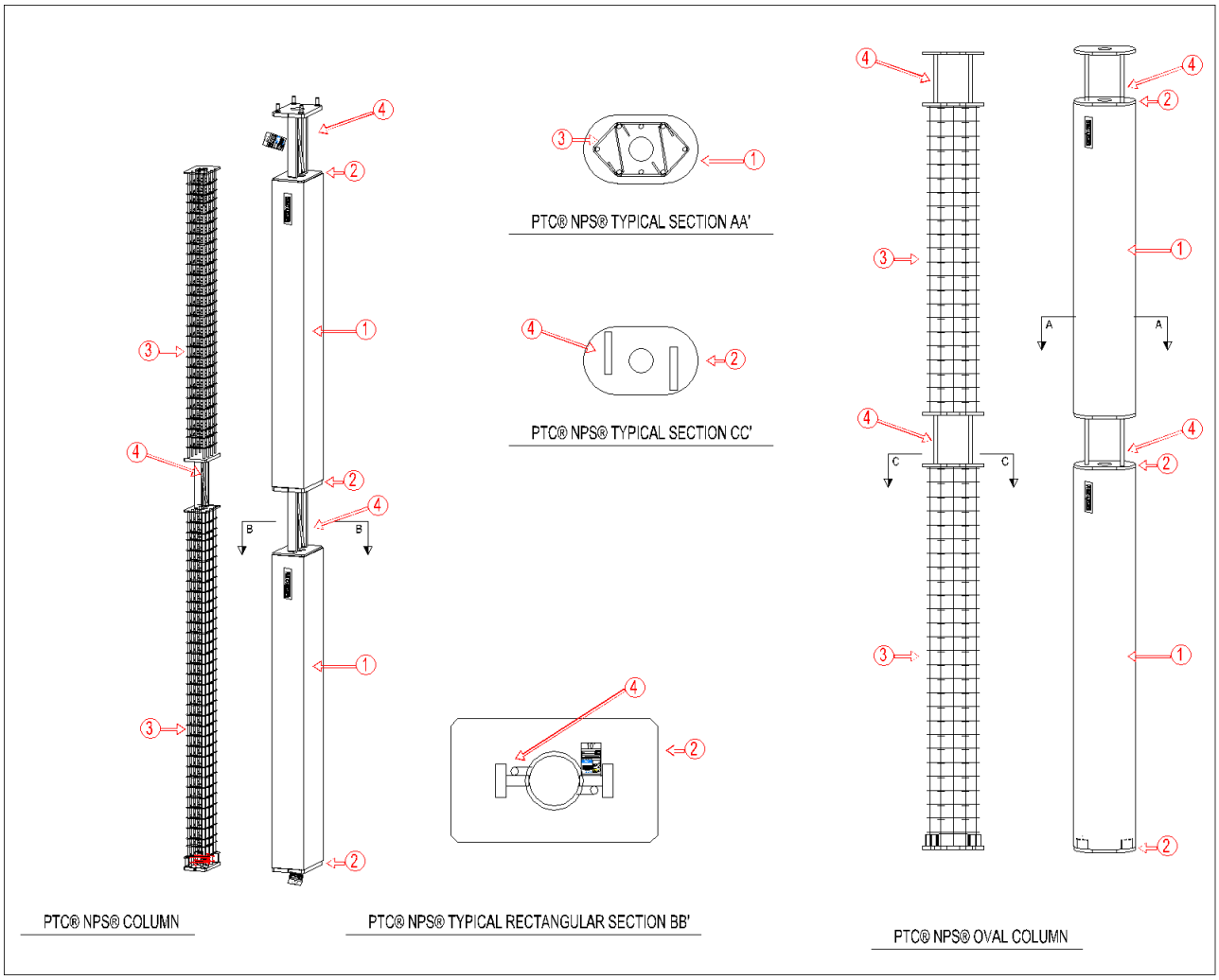
Les limites de section pour le poteau dépendent des coffrages qui peuvent être utilisés.

Les sections PTC® les plus courantes sont (liste non exhaustive) :

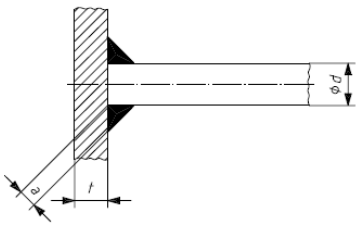
- Section ovale 550x330 [mm],
- Section circulaire Φ315 [mm],
- Section circulaire Φ420 [mm],
- Section carrée 250x250 [mm],
- Section carrée 500x500 [mm],
- Section rectangulaire 400x250 [mm],
- Section rectangulaire 500x300 [mm],

La cage de renforcement interne est réalisée avec des barres d'armature d'un diamètre de 8 à 32 mm et le revêtement en béton a une épaisseur minimale de 15 mm ; l'élément est ensuite préfabriqué avec du béton coulé.
Afin de réduire le nombre d'opérations sur le chantier, les poteaux sont généralement préfabriqués avec le nombre maximum de niveaux autorisés par les contraintes de transport. Des poteaux d'un niveau peuvent être conçus et produits en fonction des besoins spécifiques du projet. Les différents niveaux d'un même poteau doivent être reliés par des plaques soudées, conçues pour supporter la force axiale provenant du niveau supérieur jusqu'aux fondations. La cage est soudée à la base conformément à la spécification incluse dans la norme EN 17660-1 ; la connexion typologique est appelée « set-on-bar » (voir figure 1c).

 ©Copyright Tecnostrutture srl



(a) (b)



$a = 0{,}4\ d$
$0{,}4\ d \leqslant t$, but $t_{min} = 4$ mm
In case of a gap, the fillet weld size shall be increased by the dimension of the gap.

c) Set-on bar

Key

a	throat thickness	t	plate thickness
b	excess of the bar	t_{min}	minimum thickness of the web of a section or of a plate to be welded
d	nominal diameter of the welded bar	α	included angle

Figure 9 — Transverse end plate joint

(c)

Figure 1. Les poteaux PTC® typiques sont de section rectangulaire (a) et ovale (b) ; spécification de soudage pour les plaques et les cages (c).

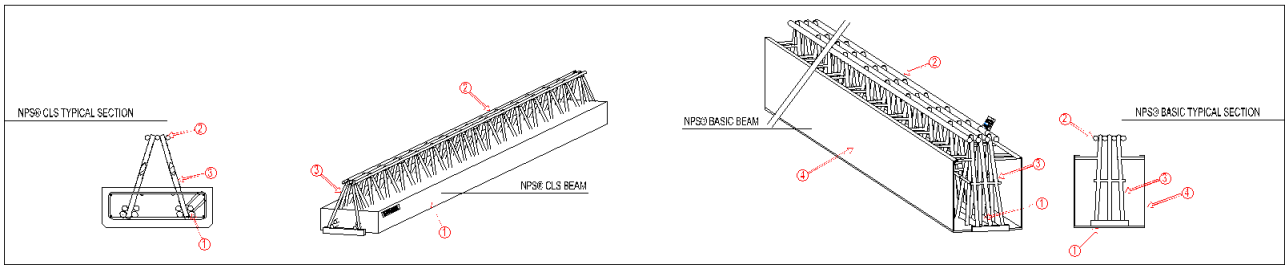
©Copyright Tecnostrutture srl

Les poutres, désignées par le nom commercial de Basic ou Cls, sont constituées d'un ou plusieurs treillis en acier soudés entre eux de manière continue selon le procédé défini dans la norme EN ISO 4063:2011. Les treillis sont composés de :

N°	Description de la pièce	Normes de référence pour les matériaux(liste non exhaustive*)
1	La membrure inférieure des éléments du treillis peut être constituée d'une tôle d'acier plane ou pliée à froid (Figure 2b) ; pour des applications spécifiques, ces structures peuvent être incorporées dans une base en béton armé préfabriquée (Figure 2a).	**EN 10025-1:2006** **EN 10080: 2005** **EN 206:2016**
2	La membrure supérieure des éléments du treillis peut être constituée d'une tôle d'acier plane ou pliée à froid (Figure 2b).	**EN 10025-1:2006**
3	Éléments diagonaux de l'âme.	**EN 10025-1:2006**
4	Plaques d'acier soudées pour le coulage du béton.	**EN 10025-1:2006**
5	Renfort supplémentaire en acier à haute adhérence.	**EN 10080: 2005**

**Le type de matériel peut changer si le producteur adopte des spécifications de procédure de soudage (WPS) de type innovant et s'il existe une norme pour calculer la performance des composants (et des connexions de soudage).*

Dans la deuxième phase, les poutres sont complétées par du béton coulé sur place. L'acier utilisé pour les poutres est conforme à la norme EN 10025-1:2006. Si la poutre est composée uniquement de pièces en acier, elle est appelée **poutre NPS® Basic** ; si la membrure inférieure est complété par le socle en béton, la poutre est appelée **poutre NPS® Cls**.
La géométrie de la poutre est adaptée aux besoins du projet.
Le béton utilisé pour la base éventuelle de la poutre et le coulage complémentaire sur le site doit être conforme à la norme EN 206:2016.



(a) (b)

Figure 2. Poutres : (a) éléments de treillis avec base en béton armé et (b) éléments de treillis avec tôle d'acier de coffrage.

Géométrie typologique des poutres NPS® (liste non exhaustive)

Éléments	**Dimension**	**Valeur**
Poutre	Largeur	De 250 à 700 mm
	Hauteur	De 150 à 1 050 mm
	Surplomb	De 50 à 750 mm
Élément de treillis rond ou carré	Ø	Jusqu'à 62 mm
	BxB	Jusqu'à 50 mm
Membrure inférieure préfabriquée	Largeur	De 300 à 700 mm
	Hauteur	De 100 à 500 mm
Membrure inférieure en tôle d'acier	Épaisseur	Jusqu'à 50 mm
Barres d'armature additionnelles	Ø	Jusqu'à 32 mm

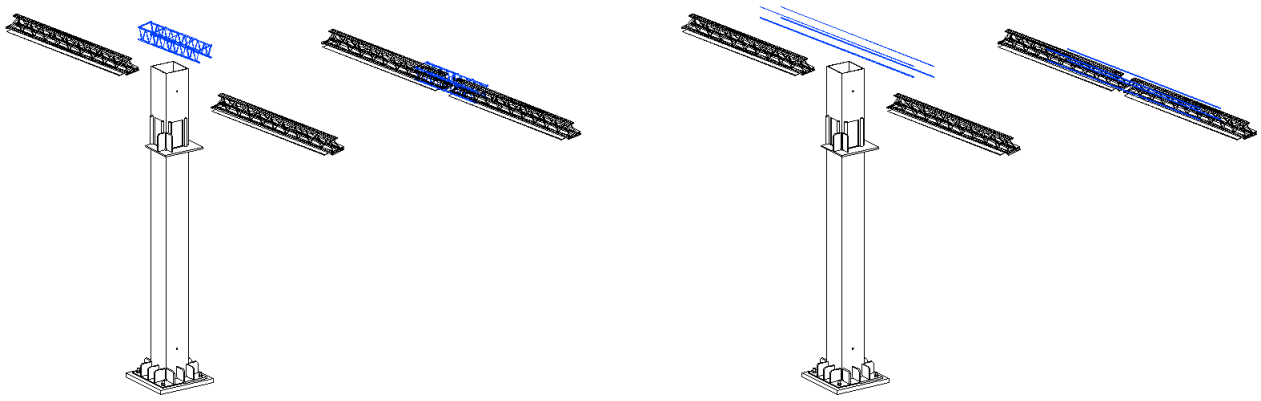
©Copyright Tecnostrutture srl

©Copyright Tecnostrutture srl

Pour l'assemblage des poutres et des poteaux, des renforts supplémentaires sont disposés afin d'assurer la continuité des poutres et le transfert des forces internes entre les éléments adjacents. Deux configurations peuvent être proposées en fonction des types de géométrie :

(b). Barres d'armature additionnelles comme dans la Figure 3b : dans ce cas, l'acier doit être conforme à la norme EN 10080:2005. Des barres d'armature additionnelles supplémentaires peuvent également être placées à mi-portée pour augmenter la résistance à la flexion ; la position des barres à l'intérieur de la section doit être choisie en fonction de la couche minimale de béton décidée conformément à la norme EN 1992-1.

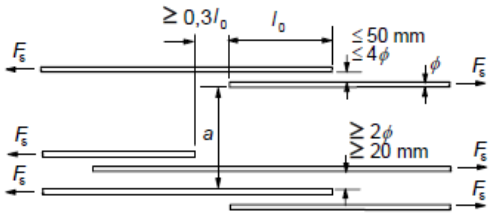
(a). Des fermes en treillis supplémentaires comme dans la Figure 3a : dans ce cas, l'acier est conforme à la norme EN 10025-1:2006 ; l'acier nervuré, l'acier trempé et l'acier inoxydable peuvent également être utilisés.



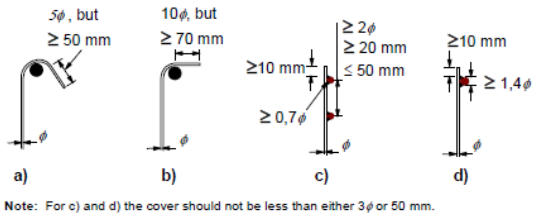
(a) (b)

Figure 3. Solutions d'assemblage.

La longueur de l'élément supplémentaire traversant la jonction est déterminée sur la base du moment de flexion et des forces de cisaillement agissant sur la poutre.
Le chevauchement (1), l'ancrage (2) et la longueur nominale correcte (3) de l'armature libre sont définis respectivement en fonction de :



(1) §8.7.2 EC2



(2) §8.5 EC2

©Copyright Tecnostrutture srl

8.4.4 Design anchorage length

(1) The design anchorage length, l_{bd}, is:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \, l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

where α_1, α_2, α_3, α_4 and α_5 are coefficients given in Table 8.2:

α_1 is for the effect of the form of the bars assuming adequate cover (see Figure 8.1).

α_2 is for the effect of concrete minimum cover (see Figure 8.3)

(3) §8.4.4 EC2

Le assemblage est complété par du béton coulé sur le site de construction. Le béton utilisé pour le remplissage des assemblages poteau-poutre doit être conforme à la norme EN 206:2016.

©Copyright Tecnostrutture srl

1.4-Phase de montage et phase provisoire

Le montage des éléments préfabriqués sur le site de construction est effectué :

1) directement par Tecnostrutture ;

   ou

2) par une autre entreprise qualifiée (spécialisée dans le montage de travaux de charpente et/ou de réalisations en béton armé) avec l'assistance technique de Tecnostrutture.

En ce qui concerne l'emballage, le transport, le stockage, l'entretien, le remplacement et la réparation des produits, il est de la responsabilité du fabricant de prendre les mesures qu'il juge nécessaire et de conseiller le maitre d'ouvrages sur le transport, le stockage, l'entretien, le remplacement et la réparation du produit.
Chaque installation doit être planifiée par un ingénieur de Tecnostrutture, et les éléments doivent être livrés avec le manuel d'instructions de montage, de manutention, de pose et de réglage fourni par le producteur (voir Annexe 01).
Toutes les connexions entre les éléments sur le chantier, pour le système NPS®, sont réalisées avec des fixations mécaniques ; aucune connexion soudée n'est autorisée en dehors de celles réalisées par Tecnostrutture.
Il est nécessaire de vérifier si le produit est installé conformément aux instructions du fabricant.

Les instructions normalisées pour l'installation des éléments structurels NPS® sont décrites dans les paragraphes suivants.

a) Installation du poteau PTC® NPS®

Les poteaux PTC® arrivent sur le site de construction, prêts à être dressés. Les fondations et les tiges d'ancrage [1]devraient être déjà en place. Les poteaux sont dressés dans la bonne position et boulonnés à la structure (fondation ou niveau supérieur de la structure inférieure). La liaison structurelle est assurée par la fixation mécanique en bas.
La mise en place d'un poteau NPS® requiert généralement la présence d'1 grutier et de 2 ouvriers spécialisés et prend moins de 8 minutes (voir également la vidéo YouTube : https://www.youtube.com/watch?v=GoBkyUxWhkw).
Chaque élément à monter est fourni avec une étiquette reportant toutes les informations utiles pour la manutention (voir la Figure 4 et l'annexe 01 pour plus d'informations).

[1] [1] Les tiges d'ancrage sortant des fondations doivent être placées conformément aux plans exécutifs de Tecnostrutture ; généralement, des barres pleines uniques, certifiées conformes à la norme EN 898-1, sont encastrées dans les fondations. Si les fondations existantes permettent l'utilisation d'une fixation chimique ou mécanique, certifiée selon l'ATE existant, ce type de connexion peut être utilisé sous la responsabilité du directeur de la construction. Pour d'autres informations spécifiques, voir l'Annexe 01.

©Copyright Tecnostrutture srl

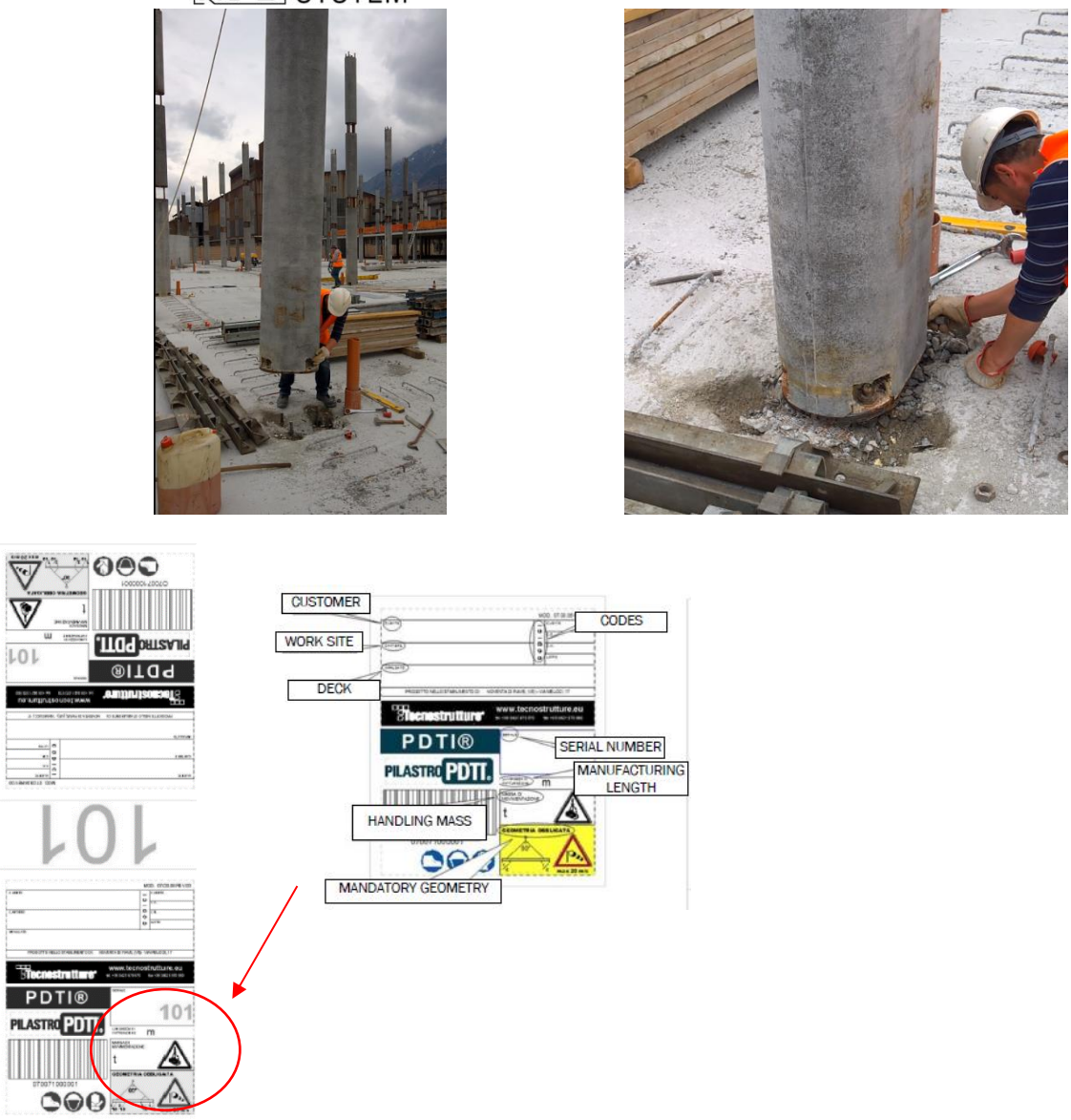


Figure 4. Mise en place d'un poteau PTC®

©Copyright Tecnostrutture srl

b) Installation des poutres NPS®

Les poutres (et les poteaux) NPS® peuvent supporter leur propre poids et les charges qui sont liées à la première phase sans soutien provisoire. L'élément, de type Basic et Cls, doit être dressé conformément à l'illustration/au dessin de l'étiquette. Les extrémités de la poutre doivent reposer sur la plaque soudée au sommet ou à la hauteur de l'élément de poteau. Cette dimension minimale est habituellement de 10 cm.
La mise en place d'une poutre NPS® requiert généralement la présence d'1 grutier et de 2 ouvriers spécialisés et prend moins de 5 minutes (voir également la vidéo YouTube : https://www.youtube.com/watch?v=xslrpIYRxSw)
Chaque élément à monter est fourni avec une étiquette reportant toutes les informations utiles pour la manutention (voir la Figure 5 et l'annexe 01 pour plus d'informations).

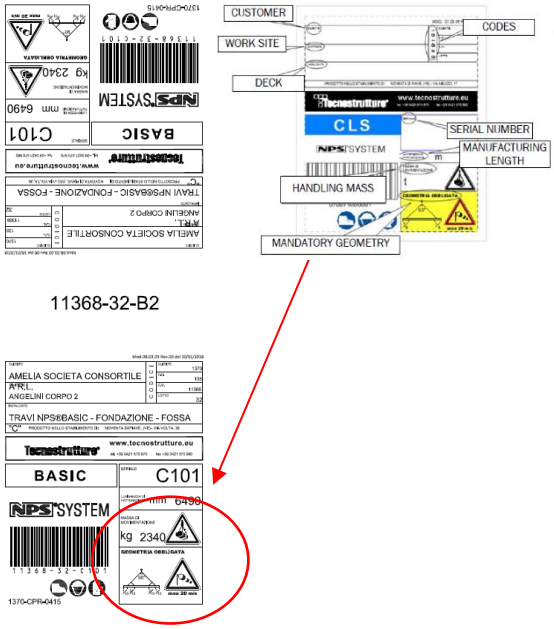
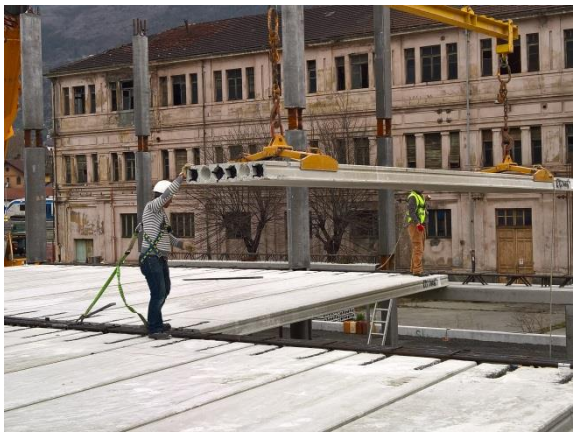


Figure 5. Mise en place d'une poutre Cls NPS®

c) Assemblage NPS®

Après la mise en place des poutres et des poteaux du système NPS®, le sol est complété par les panneaux de dalles préfabriquées (qui ne font pas l'objet de ce document, voir la photo spécifique pour la dalle à âme creuse) et le renfort supplémentaire pour créer la continuité structurelle. Les renforts supplémentaires sont des treillis soudés ou des barres d'armature additionnelles (Figure 6). Ces éléments passent à travers les poteaux et créent la connexion entre les poutres adjacentes.
Lorsqu'un treillis soudé crée la connexion, sa hauteur est généralement inférieure de 20/30 % à celle de la poutre ; en cas d'armature libre, il est placée à côté des membrures du treillis. Tecnostrutture réalise l'optimisation des éléments en acier passant au travers du nœud et la vérification de l'interférence des barres d'armature pendant la phase de conception.



©Copyright Tecnostrutture srl

Figure 6. Mise en place d'une dalle préfabriquée (non fournie par Tecnostrutture) et armature supplémentaire libre

a. Dalles préfabriquées (ne faisant pas l'objet de cette autorisation)

Les poutres NPS® Basic / Cls et les poteaux PTC® peuvent être utilisés avec plusieurs types de dalles préfabriquées afin de couvrir la surface du bâtiment. Les dalles autoportantes permettent d'obtenir les meilleures performances en matière d'efficacité des sections et de productivité de la construction. Les poutres Cls et Basic NPS® sont toutes deux conçues pour supporter les éléments de la dalle. Les types de dalles préfabriquées les plus courants sont présentés ci-dessous :

Produits préfabriqués en béton – Dalles à âme creuse selon la norme EN 1168

Figure 7. Dalle à âme creuse

Produits préfabriqués en béton – Plaques pour systèmes de sol selon la norme EN 13747 (type « Prédalles »)

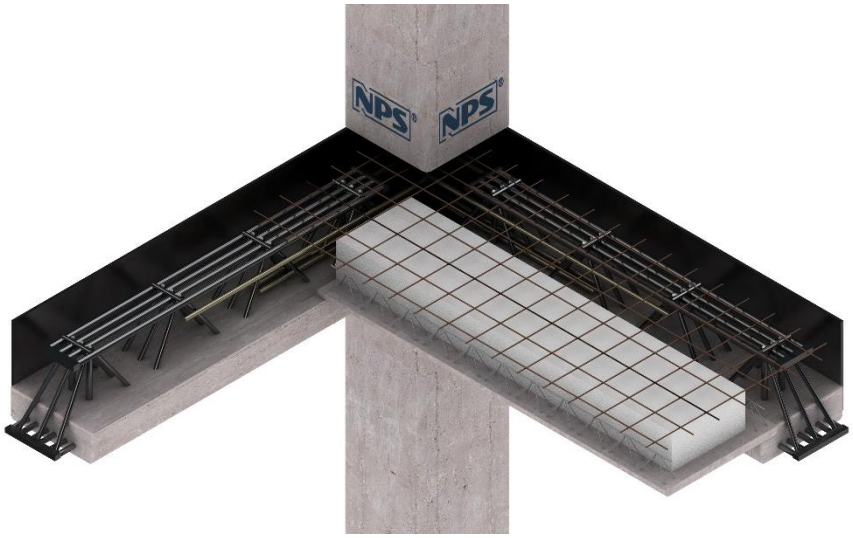


Figure 8. Plaques de sol

©Copyright Tecnostrutture srl

d) Coulage du béton

Une fois la mise en place de la structure préfabriquée terminée, le béton coulé sur place qui participe à la construction avec les structures préfabriquées en acier remplit les structures.
Les premiers éléments structurels remplis de béton sont les poutres et les dalles (voir Figure 9) ; si l'ordre change, il doit être précisé par le chef de projet ou le concepteur dans le cadre du projet d'installation.
Les poteaux PTC® n'ont pas besoin d'être remplis de béton car leur section en béton armé est entièrement préfabriquée.

Figure 9. Coulage du béton

©Copyright Tecnostrutture srl

2-Caractéristiques innovantes

Le système NPS® de Tecnostrutture (objet de la recherche ci-jointe) présente deux importantes caractéristiques innovantes :

1. Processus de production et forme géométrique des poutres mixtes acier-béton ;
2. Processus d'exécution de la charpente sur le site de construction.

Ces caractéristiques sont décrites dans les paragraphes à la suite :

1.

La procédure de vérification du système NPS® pour les poutres NPS® relève entièrement de la norme EN 1994-1. L'introduction de cet élément NPS® sur le marché européen est effectuée conformément à la norme EN 1090-1, comme le propose le §1.1.1 de l'EC4.
Les poteaux PTC® sont conformes aux exigences du §2.1.1(3) et du §10 de l'EC2 comme cela a été vérifié au cours des études effectuées par l'Université de Tongji (voir Annexe 06).

La première caractéristique innovante introduite par le système NPS® est la forme de la poutre en acier et son assemblage structurel avec la dalle en béton, ce qui a conduit à un nouveau concept de section transversale mixte acier-béton, différent de ceux proposés au paragraphe 6.1.1 de l'EC4 (voir les points **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** et **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Le treillis en acier est plongé dans la section en béton : par conséquent, les poutres NPS® peuvent généralement être réalisées dans l'épaisseur de la dalle.
En particulier, les recherches ont prouvé que les intersections des éléments du treillis en acier assurent la jonction entre l'acier et le béton (voir chap. 6-Essais et recherche) comme le font les connecteurs dans les sections transversales classiques sur la **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

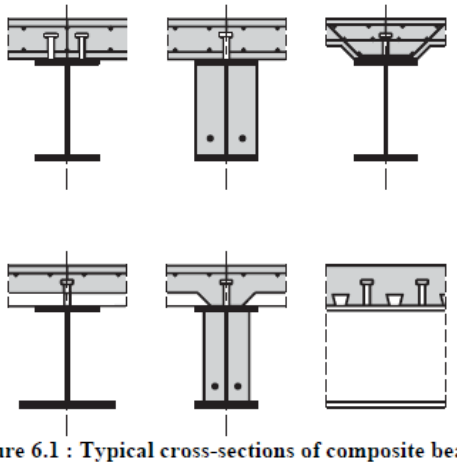


Figure 6.1 : Typical cross-sections of composite beams

Figure 10. §6.1.1 d'EN 1994-1

Malgré ses caractéristiques innovantes, en ce qui concerne la fiabilité structurelle, les poutres NPS® relèvent toujours du type de poutre du §5.3.3 : « Classification des sections mixtes acier-béton pour les bâtiments à enrobage de béton » puisque les essais et les études inhérentes aux recherches ont démontré **l'équivalence fonctionnelle entre les poutres NPS® et les poutres mixtes acier-béton communes en acier et béton, conformément aux normes de sécurité Eurocode 4.**
Ainsi, les études inhérentes à la recherche ci-jointe démontrent clairement que le modèle de conception de l'EC4 peut être utilisé pour les poutres NPS®, garantissant des niveaux de sécurité standard et permettant de tirer parti des avantages reconnus de cette nouvelle technologie.

2.

La technologie autoportante dont sont dotés les éléments NPS permet de réduire considérablement les phases pour la production et la mise en œuvre. Plus précisément, le montage de la charpente est systématiquement réalisé sans aucun coffrage. Comme décrit au paragraphe 1.3, pendant la phase provisoire, **tous les éléments**

©Copyright Tecnostrutture srl

préfabriqués peuvent supporter les charges qui leur sont assignées car il s'agit d'une structure en acier. Tous les éléments structurels, à commencer par les poteaux PTC®, sont donc conçus pour supporter leur propre poids et celui des niveaux supérieurs qui seront montés. C'est une propriété particulière qui permet le montage des portiques autostables NPS® en utilisant uniquement des éléments préfabriqués autoportants, ce qui présente plusieurs avantages sur le site de construction :

-Réduction du temps de mise en place ;
-Possibilité de faire coïncider différentes phases de travail ;
-Amélioration de la sécurité pendant la construction ;
-Réduction de la tolérance lors du montage de la structure.

. De plus, avec le béton coulé, la liaison entre les éléments de la structure (poutres et poteaux NPS®) peut être réalisée avec une tolérance géométrique inférieure à celle des structures préfabriquées classiques, grâce au comportement de la structure mixte acier-béton et à ses caractéristiques.
C'est un tout nouveau concept sur le marché de la construction.

©Copyright Tecnostrutture srl

3-Conception et évaluations

3.1-Introduction

Comme le prévoit la norme EN 1994-1 §5.4.2.4, les étapes et la séquence de construction doivent être prises en compte dans le calcul de l'élément structurel du système NPS®.
Dans la première phase, le treillis constitue une structure à lui seul et il supporte toutes les charges appliquées avant le durcissement du béton, sans aucun support provisoire (il est autoportant). Les structures en acier soudées sont conçues conformément à la norme EN 1993 et fabriquées conformément à la norme EN 1090-1. Dans la deuxième phase, le béton coulé durci devient partie intégrante de la structure (conçue conformément à la norme EN 1994). Les conditions limites des poutres changent après le durcissement du béton : une poutre à simple appui devient une poutre continue à travers le poteau (grâce aux renforts supplémentaires et au béton coulé dans le assemblage entre la poutre et le poteau).
Par ailleurs, le schéma statique du poteau PTC® ne change pas. Les poteaux PTC® sont fabriqués conformément à la norme EN 13225, et leur méthode d'évaluation ne change pas entre la première et la deuxième phase ; en effet, la section préfabriquée en béton armé calculée conformément à la norme EN 1992 est capable de supporter les forces de gravité de la première et de la deuxième phase.

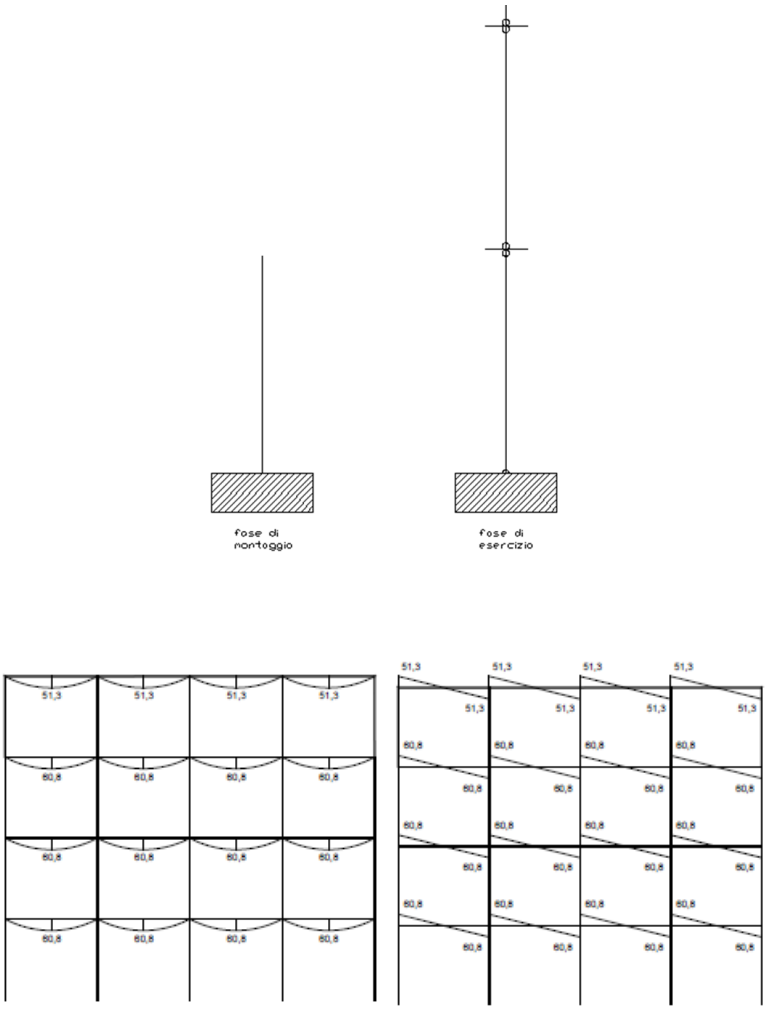


Figure 11. Schéma statique provisoire : diagrammes des moments de flexion et des forces de cisaillement.

Pendant la phase provisoire, les cas de charge sont calculés selon l'Eurocode 0.
La structure finale est conçue comme une structure portante à gravité qui a besoin de murs de cisaillement ou d'autres contreventements pour résister aux forces horizontales, y compris éventuellement les forces sismiques selon Eurocode 8.

©Copyright Tecnostrutture srl

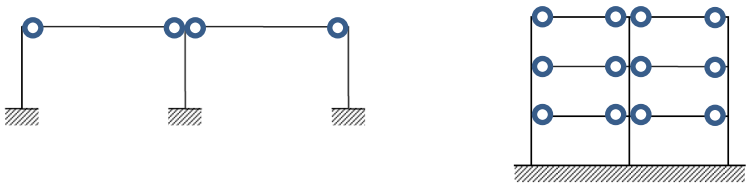


Figure 12. Schéma statique final

La procédure d'évaluation du système structurel est détaillée dans le paragraphe suivant.
Toutes les méthodes d'évaluation sont tirées des codes existants et appliquées aux formes et aux caractéristiques NPS®.
L'annexe consacrée à la recherche montre que la méthode d'évaluation proposée garantit la satisfaction des niveaux de sécurité standard.

©Copyright Tecnostrutture srl

3.2-Capacité de charge durant la première phase

Au cours de la première phase, le treillis métallique supporte généralement des charges permanentes et des charges de construction variables produisant des sollicitations globales en flexion et en cisaillement à travers des forces internes agissant le long de ses éléments constitutifs (membrure supérieure, membrure inférieure et barres diagonales). En ce qui concerne le treillis en acier, la membrure supérieure est généralement composée de deux ou plusieurs barres d'acier qui peuvent être rondes ou carrées. Par conséquent, la section transversale typique relève de la classe 1 selon Eurocode 3. En cas de coulage en séquence du béton pendant la phase de montage, même la contribution du béton à la résistance peut être utilisée après un temps de durcissement de 28 jours.

.

Charge ultime de l'élément en treillis dans la première phase (poutre)

Le but du calcul est l'évaluation de *la charge finale*, $N_{b,1}$, de l'élément de la poutre au cours de la première phase.
Lors de la première phase du processus de construction, la poutre peut être considérée comme une poutre en treillis métallique simplement soutenue par les poteaux (voir Figure 13). À ce stade, les charges auxquelles la poutre est soumise sont :

- Poids des éléments de treillis (poids propre de la poutre)
- Poids du béton coulé ;
- Poids de la dalle horizontale (le cas échéant) :
- Éventuelles charges locales ou distribuées :
- Charges résultant des travaux et de l'accumulation de béton selon la norme EN 12812:2008

Lorsqu'il est soumis aux charges mentionnées ci-dessus, l'élément de treillis présente les états limites suivants :

a) Instabilité globale de l'élément (flambement et déversement de la poutre) ;
b) Flambement de la membrure supérieure ;
c) Flambement des diagonales comprimées de l'âme
d) Déformation des treillis en acier
e) Rupture de la soudure.

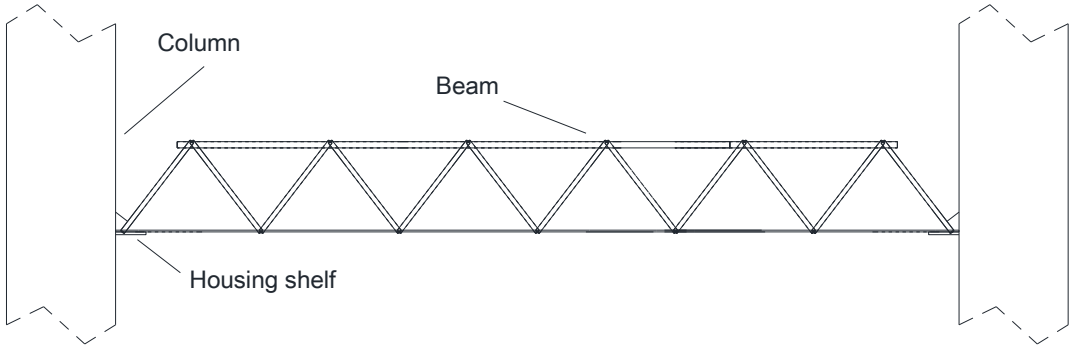


Figure 13. Schéma de l'élément de la poutre durant la première phase.

La valeur de charge maximale conduisant à l'instabilité de l'ensemble de l'élément M_e peut être évaluée selon la procédure incluse dans la norme EN 1993-1-1:2014 au § 6.3.2 (Résistance au flambement des éléments – éléments uniformes en flexion) :

$$M_e = M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

où :

- χ_{LT} *est le facteur de réduction du déversement*
- $W_y = W_{pl,y}$ *est le module de section*
- γ_{M1} *est le facteur partiel général*

Le facteur de réduction peut être évalué selon l'équation des sections soudées équivalentes :

 ©Copyright Tecnostrutture srl

$$\chi_{LT} = \min \begin{cases} \dfrac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \overline{\lambda}_{LT}^2}} \\ \dfrac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} \\ 1 \end{cases}$$

où :

- $\Phi_{LT} = 0.5\left[1 + \alpha_{LT}\left(\overline{\lambda_{LT}} - \overline{\lambda_{LT,0}}\right) + \beta \overline{\lambda}_{LT}^2\right]$
- $\alpha_{LT} = 0.49$ *est le facteur d'imperfection pour la section solide*
- $\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\dfrac{W_Y \cdot f_y}{M_{cr}}}$
- M_{cr} est le moment élastique critique pour le déversement.

La valeur de charge maximale conduisant à l'instabilité de la membrure supérieure, N_p, peut être évaluée selon la procédure incluse dans la norme EN 1993-1-1:2014 au § 6.3.1 (Résistance au flambement des éléments – élément uniforme en compression). La longueur de flambement est définie à la Figure 14.

$$N_p = N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_m}$$

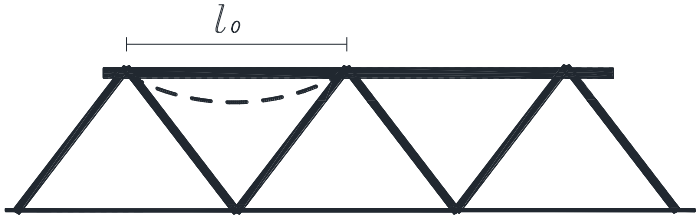


Figure 14. Longueur de flambement de la membrure comprimée.

La valeur de charge maximale conduisant à l'instabilité du support incliné, Nt, peut être évaluée selon la procédure incluse dans la norme EN 1993-1-1:2014 au § 6.3.1 (Résistance au flambement des éléments – élément uniforme en compression), comme expliqué ci-dessus, en remplaçant les caractéristiques de la membrure comprimée par les caractéristiques du support incliné et en considérant comme longueur de flambement, L_{cr} , la longueur de l'élément incliné, comme indiqué à la Figure.

$$N_t = N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_m}$$

où :

- χ *est le facteur de réduction pour le mode de flambement considéré*
- *A est la surface de la section transversale de l'élément de la plaque supérieure*
- f_y *est la limite d'élasticité de l'acier*
- γ_m *est le facteur partiel général*

Le facteur de réduction peut être évalué selon l'équation :

©Copyright Tecnostrutture srl

$$\chi = \min \begin{cases} \dfrac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \\ 1 \end{cases}$$

où :

- $\Phi = 0.5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0.2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$
- $\alpha = 0.49$ *est le facteur d'imperfection pour la section solide*
- $\bar{\lambda} = \sqrt{\dfrac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \dfrac{L_{cr}}{i} \cdot \dfrac{1}{\lambda_1}$
- L_{cr} *est la longueur de flambement*, évaluée comme indiqué dans xxx.
- $i = \sqrt{\dfrac{J}{A}}$ *est le rayon de giration autour de l'axe concerné, avec* J *comme inertie de la section transversale et* A *comme surface de la section transversale de la plaque supérieure.*
- $\lambda_1 = \pi\sqrt{\dfrac{E}{f_y}} = 93.9 \cdot \varepsilon = 93.9 \cdot \sqrt{\dfrac{235}{f_y}}$ $\left(f_y \text{ en } N/mm^2\right)$

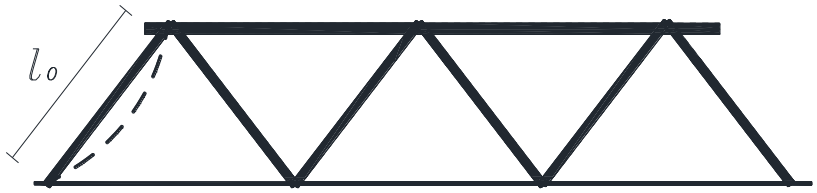


Figure 15. Longueur de flambement des diagonales comprimées.

La méthode de calcul mentionnée ci-dessus peut être appliquée efficacement si l'évaluation de la résistance du assemblage de soudure est effectuée conformément à l'EC3 et à la procédure de soudage prévue dans la norme EN 1090-2:2018.

La *limite élastique ultime des éléments du treillis*, $N_{pl.Rd}$, peut être évaluée selon les procédures prévues par la norme EN 1993-1-1:2014 au § 6.2.3 (Résistance des sections – élément uniforme en traction).

$$N_e = N_{\text{pl},Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

La *résistance ultime du soudage*, R_w, peut être évaluée selon les procédures appropriées prévues dans la norme EN 1993-1-8:2005 section 4 (Conception des assemblages – assemblages soudés). Une conception de capacité garantissant que la surrésistance des soudures respecte les éléments connectés est généralement appliquée.

©Copyright Tecnostrutture srl

Résistance de l’élément de poteaux aux forces axiales combinées aux moments de flexion dans la première phase

L’objectif des méthodes de calcul décrites ici est l’évaluation de la force axiale *combinée – résistance au moment de flexion*, dans la première phase du processus de construction du poteau PTC® NPS®.

L’évaluation de la résistance du poteau aux forces axiales combinées aux moments de flexion dans la première phase peut être effectuée :

- conformément à la procédure incluse dans la norme EN 1992-1-1:2015, au point 6.1 (État limite ultime – Résistance à la flexion avec ou sans force axiale), car le poteau en première phase est un élément préfabriqué en béton armé

- la capacité de l’assemblage boulonné à la base du poteau contre les sollicitations de cisaillement (provenant des charges de vent ou d’un montage excentrique) est évaluée conformément à la norme EN 1090-2:2018 et à l’EC3

- la vérification de la résistance du assemblage de soudure est effectuée conformément à l’EC3 et à la procédure de soudage prévue dans la norme EN 1090-2:2018

Même dans le cas où la méthode de calcul mentionnée ci-dessus peut être appliquée efficacement, le contrôle de la résistance du assemblage de soudure est effectué conformément à l’EC3 et à la procédure de soudage prévue dans la norme EN 1090-2:2018.

©Copyright Tecnostrutture srl

3.3-Capacité de charge durant la deuxième phase

En ce qui concerne la section mixte acier-béton finale, constituée par la poutrelle en acier et le béton coulé, l'état limite ultime de flexion positive (qui tend les fibres inférieures) est maintenant pris en compte, ainsi que l'état limite ultime de flexion négative qui s'applique au droit du nœud poteau-poutre. D'après l'Eurocode 4, la résistance de conception à la flexion doit être déterminée par modèle rigide-plastique uniquement si la section transversale mixte acier-béton est de classe 1 ou de classe 2.
Une poutre NPS®, soumise à une flexion positive, est généralement de classe 1, car le profilé en acier comprimé appartient à la classe 1. Selon Eurocode 4, la résistance à la traction du béton est négligeable. Le moment de résistance plastique de la section transversale mixte acier-béton peut être établi en émettant les hypothèses suivantes : interaction totale entre le treillis en acier et le béton ; la zone de la membrure du treillis en acier est soumise à une contrainte correspondant à sa limite d'élasticité nominale en traction ou en compression ; la zone efficace du béton en compression résiste à une contrainte correspondant à 85 % de sa constante de résistance nominale à la compression du cylindre sur toute la profondeur entre l'axe neutre et la fibre de béton la plus comprimée (voir Fig. 3.1).

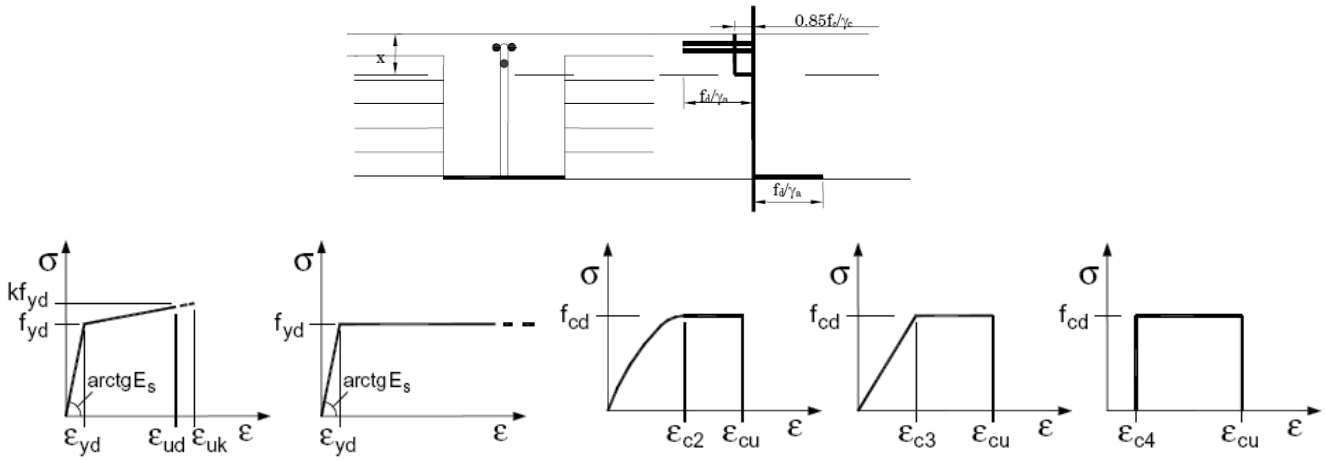


Figure 16. Hypothèse de calcul pour les poutres NPS®

©Copyright Tecnostrutture srl

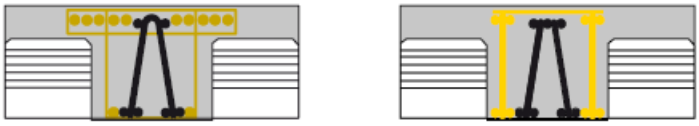
Résistance à la flexion de la poutre mixte acier-béton dans la deuxième phase

L'objectif de la méthode de calcul présentée ici est l'évaluation de la *résistance à la flexion, $M_{b;2,}$* de l'élément de poutre alors que, après le durcissement du béton, il est rigidement relié aux poteaux adjacents.
Après la modification du schéma statique, le moment de flexion de conception devient positif à mi-portée et négatif au droit du poteau.

La résistance à la flexion de la poutre, $M_{b,2}$, peut être évaluée :

- selon la procédure prévue par la norme EN 1992-1-1:2015, au § 6.1 (État limite ultime – Résistance à la flexion avec ou sans force axiale), si seules des barres d'armature en acier lâches sont placées en travers du assemblage (Figure 3(b)).

- selon la procédure prévue dans la norme EN 1994-1-1:2004, au § 6.2.1 (Résistances des sections transversales des poutres – Résistance à la flexion) si une poutre mixte acier-béton est placée en travers du assemblage (Figure 3(a)).



(b) (a)

Figure 17. Continuité dans le support grâce à des barres d'armature additionnelles (b) et à un treillis en acier (a).

Résistance au cisaillement de la poutre mixte acier-béton dans la deuxième phase

L'objectif des méthodes de calcul présentées ici est l'évaluation de la r*ésistance au cisaillement, $V_{b;2}$*, de la poutre dans la deuxième phase.
La résistance au cisaillement de la poutre peut être évaluée selon la procédure prévue dans la norme EN 1994-1-1:2004, section 6.2.2 (Résistances des sections transversales des poutres – Résistance au cisaillement vertical).

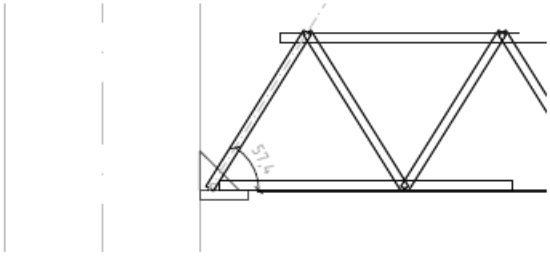


Figure 18. Support de poutre NPS®

La capacité de cisaillement de la poutre doit être considérée comme la résistance du profilé d'acier de construction ; la résistance au cisaillement plastique de conception du profilé d'acier de construction doit donc être déterminée conformément à la norme EN 1993-1-1, § 6.2.6.

Ductilité des poutres

L'objectif des méthodes de calcul présentées ici est l'évaluation de la *ductilité, $\mu_{b;2}$,* d'une poutre dans la deuxième phase. Ce paramètre est essentiel pour les bâtiments situés dans des zones sismiques.

Dans les régions critiques des poutres, également définies comme zones dissipatives, la ductilité de la poutre peut être évaluée en termes de *facteur de ductilité de courbure* conformément à la norme EN 1998-1:2013 section 5.2.3.4 (Condition de ductilité locale). La formule suivante peut être utilisée :

$$\mu_{b,2} = \frac{\chi_u}{\chi_e}$$

où :

©Copyright Tecnostrutture srl

- χ_u est la courbure ultime de la section transversale de la poutre dans la région critique et peut être évaluée comme :

$$\chi_u = \varepsilon_{cu} / x_u$$

avec :

  - $\varepsilon_{cu} = 3,5‰$
  - x_u axe neutre correspondant à la déformation maximale autorisée pour le béton

- χ_e est la courbure plastique de la section transversale de la poutre dans la région critique et peut être évaluée comme :

$$\chi_e = \varepsilon_{sy} / (d - x_e)$$

avec :

  - $\varepsilon_{sy} = 1,86‰$
  - d profondeur effective de la section de la poutre
  - x_e axe neutre correspondant à une déformation de l'acier $\varepsilon = \varepsilon_{sy}$

Résistance des poteaux aux forces axiales combinées aux moments de flexion dans la deuxième phase

L'objectif des méthodes de calcul décrites ici est l'évaluation de la force axiale *combinée – résistance au moment de flexion des poteaux*, dans la deuxième phase du processus de construction.

La résistance d'un poteau à la force axiale et au moment de flexion dans la deuxième phase peut être évaluée :

- selon la procédure prévue par la norme EN 1994-1-1:2004, au point 6.7.3.6 (Poteaux mixtes acier-béton et éléments mixtes acier-béton de compression – Résistance des éléments en compression combinée et en flexion uniaxiale), alors que les poteaux, dans la deuxième phase, est considéré comme un élément mixte acier-béton.

- conformément à la procédure incluse dans la norme EN 1992-1-1:2015, au point 6.1 (État limite ultime – Résistance à la flexion avec ou sans force axiale), car le poteau en première phase est un élément préfabriqué en béton armé

Résistance au cisaillement des poteaux

L'objectif des méthodes de calcul reportées ici est l'évaluation de la *résistance au cisaillement*, $Vc_{;2}$, des poteaux dans la deuxième phase du processus de construction.

La résistance au cisaillement d'un poteau dans la deuxième phase peut être évaluée :

- conformément à la procédure prévue dans la norme EN 1992-1-1:2015, au point 6.2 (État limite ultime – Force de cisaillement).
- La capacité de l'assemblage boulonné à la base du poteau contre les sollicitations de cisaillement (provenant des charges de vent ou d'un montage excentrique) est évaluée conformément à la norme EN 1090-2:2018 et à l'EC3.

©Copyright Tecnostrutture srl

Ductilité des éléments de poteaux

L'objectif des méthodes présentées ici est l'évaluation de la *ductilité*, $\mu_{c;2}$, d'un poteau dans la deuxième phase. Elle peut être évaluée à la fois par des procédures de calcul ou des tests expérimentaux comme indiqué ci-dessous.

Dans la région critique d'un poteau, également définie comme zone dissipative, la ductilité du poteau peut être évaluée en termes de *facteur de ductilité de courbure* conformément à :

- EN 1998-1:2013 sections 7.5.2 (Structures mixtes acier-béton – critères de conception des structures dissipatives) et 7.6.6 (Structures mixtes acier-béton – poteaux remplis), lorsque le poteau, dans la deuxième phase, est un élément mixte acier-béton et que les règles générales de la section 7.6.1 (Structures mixtes acier-béton – règles générales) sont respectées.

3.4-Conception pour la résistance au feu

Résistance au feu de la poutre

L'objectif des méthodes de calcul présentées ici est l'évaluation de la résistance au feu de la poutre dans la deuxième phase.
La résistance au feu de la poutre doit être évaluée sur la base de la section 5.6 de la norme EN 1992-1-2:2005

Voir l'annexe 09 « Évaluation de la résistance au feu des structures composites acier-béton appelées système NPS® de Tecnostrutture » Pour l'explication de la méthode de calcul du feu selon les Eurocodes.

Résistance au feu du poteau

L'objectif des méthodes de calcul présentées ici est l'évaluation de la résistance au feu du poteau dans la deuxième phase.
La résistance au feu du poteau est évaluée sur la base de :

- EN 1992-1-2:2005 EC2 – Calcul des structures en béton – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu.

Voir l'annexe 09 « Évaluation de la résistance au feu des structures composites acier-béton appelées système NPS® de Tecnostrutture » Pour l'explication de la méthode de calcul du feu selon les Eurocodes.

©Copyright Tecnostrutture srl

4-Fabrication

La procédure toute entière ainsi que la séquence de fabrication sont incluses dans le plan de fabrication et de contrôle (Mod. 08.01.02, annexe 03).
Comme le certifie l'annexe 02 « Livret des certifications », les produits décrits sont fabriqués sur le site de construction suivant :

Adresse	**Cert. N°**	**Norme**	**Phase de Construction**
Via Volta 36, 30020 Noventa di Piave (VE) Italie	1370-CPR-0415	EN 1090-1	Assemblage et soudage de la partie en acier
Via Lombardia 14, 35043 Monselice (PD) Italie	0474-CPR-0876	EN 13225	Production de béton préfabriqué

4.1-Références techniques et normatives

Les poutres et les poteaux PDTI® du système NPS® doivent être produits conformément aux règlements techniques pour la construction de structures en acier conformément à la norme **EN 1090-1**, l'acier pour les structures métalliques étant qualifié conformément aux exigences du même Eurocode.

Les principales normes suivies dans la production des éléments préfabriqués du système NPS® sont celles relatives aux structures métalliques, où une attention particulière est accordée aux procédés de soudage.
Le livret des certifications Tecnostrutture est fourni à l'Annexe n° 02.

Plus précisément, il faut se référer aux règlements de production suivants ainsi qu'aux modifications et ajouts ultérieurs :

- **EN ISO 4063:2011** : « Soudage et techniques connexes – Nomenclature et numérotation des procédés »
- **EN ISO 9606-1:2017** : « Épreuve de qualification des soudeurs – Soudage par fusion – Partie 1 : aciers »
- **EN ISO 15614-1:2017** : « Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques – Épreuve de qualification d'un mode opératoire de soudage – Partie 1 : soudage à l'arc et aux gaz des aciers et soudage à l'arc des nickels et alliages de nickel »
- **EN ISO 17635:2017** : « Contrôle non destructif des assemblages soudés – Règles générales pour les matériaux métalliques »
- **EN ISO 11373: 2010** : « Essais non destructifs – Qualification et certification du personnel END – Principes généraux »
- **EN ISO 3834-1:2006** : « Exigences de qualité en soudage par fusion des matériaux métalliques – Partie 1 : critères pour la sélection du niveau approprié d'exigences de qualité »
- **EN ISO 3834-2:2006** : « Exigences de qualité en soudage par fusion des matériaux métalliques – Partie 2 : exigences de qualité complète »
- **EN ISO 3834-3:2006** : «Exigences de qualité en soudage par fusion des matériaux métalliques – Partie 3 : exigences de qualité normale ».
- **EN ISO 3834-4:2006** : « Exigences de qualité en soudage par fusion des matériaux métalliques – Partie 4 : exigences de qualité élémentaire »
- **EN ISO 3834-5:2006** : « Exigences de qualité en soudage par fusion des matériaux métalliques – Partie 5 : documents auxquels il est nécessaire de se conformer pour déclarer la conformité aux exigences de qualité de l'ISO 3834-2, l'ISO 3834-3 ou l'ISO 3834-4 »
- **EN ISO 14731:2014** : « Coordination en soudage – Tâches et responsabilités »
- **EN ISO 17662:2016** : « Soudage – Étalonnage, vérification et validation du matériel utilisé pour le soudage, y compris les procédés connexes »
- **EN ISO 15607:2005** : « Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques – Règles générales »
- **EN ISO 15609-1:2006** : « Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques – Descriptif d'un mode opératoire de soudage – Partie 1 : soudage à l'arc »
- **EN ISO 15609-2:2004** : « Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques – Descriptif d'un mode opératoire de soudage – Partie 2 : soudage au gaz »
- **EN ISO 15610:2005** : « Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques – Qualification basée sur des produits consommables soumis à essais »

©Copyright Tecnostrutture srl

- **EN ISO 15611:2005** : « Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques – Qualification sur la base de l'expérience en soudage »
- **EN ISO 15612:2005** : « Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques – Qualification par référence à un mode opératoire de soudage standard »
- **EN ISO 15613:2005** : « Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques – Qualification sur la base d'un assemblage soudé de préproduction »
- **EN ISO 15614-1:2017** : « Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques – Épreuve de qualification d'un mode opératoire de soudage – Partie 1 : soudage à l'arc et aux gaz des aciers et soudage à l'arc des nickels et alliages de nickel »

Pour le système NPS® utilisant du béton et de l'acier d'armature (comme la poutre NPS® CLS), les normes de production suivantes, ainsi que les modifications et ajouts ultérieurs, s'appliquent :

- **EN 10080:2005** : « Aciers pour l'armature du béton – Aciers soudables pour béton armé – Généralités »
- **EN ISO 17660-1:2007** : « Soudage – Soudage des aciers d'armatures – Partie 1 : assemblages transmettant des efforts »
- **EN ISO 17660-2:2007** : « Soudage – Soudage des aciers d'armatures - Partie 2 : assemblages non transmettants »
- **EN 8981:1999** partie 1 : « Durabilité des ouvrages en béton et des éléments préfabriqués – Critères pour éviter la réaction alcali-silice »
- **EN 8981:1999** partie 2 : « Durabilité des ouvrages en béton et des éléments préfabriqués – Critères pour obtenir la résistance à l'attaque au sulfate »
- **EN 8981:1999** partie 3 : « Durabilité des ouvrages en béton et des éléments préfabriqués – Critères pour obtenir la résistance à l'eau pure »
- **EN 13369:2008** : « Règles communes pour les produits préfabriqués en béton »
- **EN 13225:2013** : « Produits préfabriqués en béton – Éléments de structure linéaires »
- **EN 13747:2010** : « Produits préfabriqués en béton – Prédalles pour systèmes de planchers »

4.2-Figures de référence durant la production

Directeur technique

Les éléments du système NPS® doivent être produits sous la direction d'un technicien qualifié qui assume le rôle de « Directeur Technique » et qui doit opérer dans le respect de l'art. 64, paragraphe 3, du décret présidentiel 380/01 (Code italien) ou équivalent à l'étranger.

La vérification des caractéristiques des matériaux, les essais et les contrôles des produits en cours de transformation et des produits finis, requis par la réglementation technique en vigueur et spécifiés dans cette réglementation, sont effectués sous la responsabilité du directeur technique du bureau d'études de Tecnostrutture.

En ce qui concerne l'importance de la position effective des assemblages ou des soudures, en plus des positions ordinaires, le directeur technique du centre de traitement établit de manière appropriée d'autres essais de soudage, en accord avec la direction du projet pour lequel les poutres sont prévues.

Coordinateur de soudage

Toutes les soudures doivent être effectuées sous la supervision d'un technicien qualifié appelé « Coordinateur de soudage » ci-après, qui doit opérer conformément à la norme EN ISO 14731:2007. Ses tâches et responsabilités sont détaillées dans un document spécifique.

Qualification du soudeur

Les soudeurs doivent être qualifiés conformément à la norme EN 9606-1: 2017 par un tiers accrédité. En cas de dérogation à ces exigences, les soudeurs qui effectuent des assemblages en T par soudage d'angle doivent être spécifiquement qualifiés et ne peuvent pas être simplement qualifiés pour des assemblages bout à bout.

Un document spécifique contient la liste des soudeurs qualifiés (« Liste des soudeurs qualifiés » (Mod. 07.05.02)), et il est tenu constamment à jour.

 ©Copyright Tecnostrutture srl

4.3-Matériaux et produits à usage structurel

Approvisionnement en matériel de base

Achat de matériaux de base et acceptation des produits :

Les commandes de matériaux utilisés pour la fabrication des poutres NPS® et des poteaux PDTI® sont effectuées auprès de fournisseurs ayant une expertise technologique éprouvée et capables de certifier la qualité du matériau conformément à la réglementation en vigueur (marquage CE conforme au règlement UE n° 305:2011). Les commandes comprennent toujours, en plus des exigences techniques éventuelles, les exigences de qualité renvoyant aux réglementations techniques correspondantes. Une copie du certificat de qualification du Service Technique Central doit accompagner toutes les fournitures d'acier, pour lesquelles il n'existe pas d'obligation de marquage CE. Le certificat peut être utilisé sans limite de temps. La référence à ce certificat doit être indiquée sur le document de transport. Les livraisons effectuées par un intermédiaire doivent être accompagnées d'une copie des documents délivrés par le constructeur et complétées par la référence au document de transport de l'intermédiaire.

Inspection à la réception du matériel :

Les essais à la réception des matériels mentionnés ci-dessus doivent être effectués conformément à un « Plan d'inspection à l'acceptation » (Mod. 08.04.02) qui exige des actions, des responsabilités et des fréquences spécifiques afin de vérifier si les matériels acceptés sont conformes aux exigences prédéfinies selon la norme EN 1090-2.

Acier pour structures métalliques et mixtes acier-béton

Lors de la fabrication des poutres, on utilise de l'acier de construction laminé à chaud identifié selon la norme EN 10025:2006.
Chaque fourniture est accompagnée de la documentation requise, qui se compose du certificat d'essai selon les normes EN 10204-2005 et de la déclaration de qualification du produit avec indication des détails de la marque et du dernier certificat délivré par le laboratoire.
Les caractéristiques mécaniques des aciers de construction utilisés doivent correspondre à celles indiquées dans les normes harmonisées EN 10025 (pour les laminés), EN 10210 (pour les tubes sans soudure) et EN 10219-1 (pour les tubes soudés) ; d'autres normes de matériaux peuvent être appliquées selon le §2.1 EN 1090-2.
L'acier de construction utilisé doit être muni de marques identifiant le type d'acier et son degré de qualité. Il doit porter le marquage CE auquel s'applique le système de certification de conformité 2+.
Les contrôles statistiques sont obligatoires et doivent être effectués par le Directeur Technique de l'atelier conformément au Contrôle de la Production en Usine (Mod. 08.01.02). Le Directeur Technique de l'atelier s'occupe de l'enregistrement de tous les résultats des essais d'inspection internes dans un registre approprié, qui doit être visible par les personnes qualifiées pour le contrôler.

Les aciers destinés à être soudés selon la méthode MIG (Metal-arc Inert Gas) ou MAG (Metal-arc Active Gas) doivent présenter une composition chimique se rapportant au produit fini et correspondant aux limites indiquées par la norme pertinente en fonction du type d'acier utilisé.
L'insensibilité de l'acier aux ruptures fragiles doit être estimée sur la base de la température T à laquelle, pour cet acier, une résilience KV de 27 J peut être atteinte. La température T doit être * par celle du niveau de service minimum.

Béton pour bases préfabriquées en béton armé (uniquement pour les poutres NPS® Cls)

Une fois la charpente métallique soudée terminée, il est nécessaire de couler la base préfabriquée pour la poutre NPS® Cls.
Il faut donc ajouter les trois phases suivantes au processus de fabrication standard :

- Assemblage des armatures pour la partie en béton tout au long du treillis soudé ; des étriers profilés à froid en acier selon la norme EN 10080 sont encastrés dans la structure en acier existante conformément aux plans d'exécution.
- Préparation des supports de coulée, avec des éléments spécifiques aux extrémités afin de maintenir la structure assemblée levée aussi haute que l'enrobage de béton nécessaire ; la valeur minimale de l'enrobage de béton des poutres NPS Cls est de 15 mm nets ; pour une application spécifique, cette valeur peut être augmentée en fonction du projet d'exécution.
- Coulage de béton (propriétés conformes à la norme EN 206) à l'intérieur des coffrages supports. La classe minimale de béton utilisée pour ce type d'opération est : C32/40 SCC XC3 D16.

Béton de portée pour le poteau NPS® PTC®

Une fois la charpente métallique soudée réalisée, pour le poteau NPS® PTC®, il est nécessaire de couler le poteau préfabriqué centrifugé dans des coffrages en inox spécifiques.

©Copyright Tecnostrutture srl

Il faut donc ajouter les trois phases suivantes au processus de fabrication standard :

- Préparation des supports de coulée.
- Coulage de béton (propriétés conformes à la norme EN 206) à l'intérieur des coffrages supports. La classe de béton utilisée pour ce type d'opération est : C70/85 S3 XC3 D16.
- Fermeture des coffrages et centrifugation du béton.

4.4-Procédé de soudage

Informations générales

Le soudage des aciers s'effectue par l'un des procédés à l'arc électrique régis par la norme EN ISO 4063:2011. Le procédé standard de Tecnostrutture est le 135. L'utilisation de procédés différents est autorisée à condition qu'elle soit étayée par une documentation théorique et expérimentale appropriée.
Les soudeurs travaillant selon des procédés semi-automatiques et manuels sont qualifiés en vertu de la norme EN 9606-1:2013 par une tierce partie. En cas de dérogation aux exigences de la norme EN 9606-1:2013, les soudeurs qui effectuent des assemblages en T par soudage d'angle doivent être spécifiquement qualifiés et ne peuvent pas être simplement qualifiés pour des assemblages bout à bout.

La dureté réalisée sur les macrographies ne dépasse pas la limite exposée par la norme EN 1090-2.

Les essais de qualification des soudeurs, des opérateurs et des procédures sont effectués par une tierce partie. En l'absence d'exigences à cet égard, la tierce partie est choisie par le fabricant selon des critères de compétence et d'indépendance.

Les caractéristiques de ductilité, de limite d'élasticité, de résistance et de ténacité dans la zone thermique de fusion et alternée ne doivent pas être inférieures à celles du matériau de base.

Lors du soudage, les parties 1 et 2 de la norme EN 1011:2009 pour les aciers ferritiques et la partie 3 pour l'acier inoxydable doivent être respectées. La norme EN ISO 9692-1:2013 doit être appliquée lors de la préparation des bords, sauf cas particuliers.

Les soudures sont soumises à des essais finaux non destructifs afin de vérifier si elles répondent aux niveaux de qualité fixés par le concepteur sur la base des normes appliquées pour la conception (voir ci-dessous).

Les niveaux prévus par la norme EN ISO 5817:2008 doivent être choisis conformément à la norme EN 1090-2, Type de classe d'exécution.

L'étendue et le type de ces contrôles destructifs et non destructifs, en plus du contrôle visuel à 100 %, sont définis conformément à la norme EN 1090-2. Pour les soudures d'angle ou les assemblages à pénétration partielle, il faut utiliser des méthodes de surface (par exemple des liquides pénétrants ou des poudres magnétiques), tandis que pour les assemblages à pénétration totale, outre les méthodes susmentionnées, il faut utiliser des méthodes volumétriques, c'est-à-dire des rayons X ou gamma ou des ultrasons pour les assemblage bout à bout et uniquement des ultrasons pour les assemblage en T à pénétration totale.

Tous les opérateurs qui effectueront les tests doivent être qualifiés conformément à la norme EN ISO 9712:2012 et être au moins au deuxième niveau.

En ce qui concerne le type de produits créés avec des assemblages soudés, le fabricant doit être certifié conformément à la norme EN ISO 3834: 2006 parties 2 et 4. Le niveau de connaissances techniques du personnel de coordination du soudage doit être conforme aux exigences des normes dont la validité a été établie. Les exigences sont résumées dans le Tabl. 11.3.XI du Décret ministériel 14/01/2008 fourni ci-dessous.

©Copyright Tecnostrutture srl

Tipo di azione sulle strutture	Strutture soggette a fatica in modo non significativo			Strutture soggette a fatica in modo significativo
Riferimento	A	B	C	D
Materiale Base: Spessore minimo delle membrature	S235, s ≤ 30mm S275, s ≤ 30mm	S355, s ≤ 30mm S235 S275	S235 S275 S355 S460, s ≤ 30mm	S235 S275 S355 S460 (Nota 1) Acciai inossidabili e altri acciai non esplicitamente menzionati (Nota 1)
Livello dei requisiti di qualità secondo la norma UNI EN ISO 3834:2006	Elementare EN ISO 3834-4	Medio EN ISO 3834-3	Medio EN ISO 3834-3	Completo EN ISO 3834-2
Livello di conoscenza tecnica del personale di coordinamento della saldatura secondo la norma UNI EN 719:1996	Di base	Specifico	Completo	Completo

Figure 19. Tabl. 11.3.XI du décret ministériel italien 14/01/2018

La certification de l'entreprise et du personnel est délivrée par un tiers, choisi, en l'absence d'exigences particulières, par le fabricant sur la base de critères d'indépendance et de compétence.

Caractéristiques du matériau de remplissage

Le soudage à l'arc sous protection gazeuse (qui, dans la terminologie AWS, est indiqué par GMAW – Gas Metal Arc Welding) qui est effectué avec une procédure de fil continu peut être MIG (Metal-arc Inert Gas – codé sous le n° 131 selon ISO 857-1) ou MAG (Gas Metal Arc Welding – codé sous le n° 135 selon ISO 857-1)
Seuls les fils correspondant à la classification EN ISO 14341:2011, adaptés au type d'acier et de gaz (ou mélanges) utilisés, doivent être utilisés dans les procédures de soudage MIG / MAG.

Le calibre du fil de remplissage pour le soudage sous gaz de protection doit être défini en fonction de l'épaisseur, du type de assemblage et de la position de passage du assemblage.

Les fils utilisés doivent avoir une composition chimique correspondant aux indications du point 3.2 pour les classes identifiées dans la norme EN ISO 14341:2011 – 79, avec S * 0,03 % et P * 0,03 % dans toutes les classes et avec une teneur en Cu dans le fil ne dépassant pas 0,3 %.

Qualification du procédé de soudage

Tecnostrutture peut mettre en œuvre des méthodes de soudage autres que celles mentionnées ci-dessous, dont la validité a été dûment vérifiée au moyen d'essais de qualification des procédures, après autorisation écrite.
Les éléments constituant le système peuvent être soudés par soudage automatique ou semi-automatique sous protection de gaz inerte, de gaz CO_2 pur ou avec mélange de gaz non inertes.
La qualification des procédés de soudage doit être effectuée conformément aux exigences de la norme EN ISO 15614-1: 2017. Il faut tout d'abord définir les **spécifications du procédé de soudage (WPS)**, car tous les paramètres de soudage requis pour la qualification du assemblage soudé sont énumérés dans ce document appelé WPS (Welding Procedure Specification), publié conformément aux exigences du règlement. Le WPS atteste tous les paramètres impliqués dans le processus de soudage et est l'outil essentiel pour enregistrer les données utilisées pour la procédure et/ou la qualification du soudeur. Ces paramètres sont ensuite ceux qui servent à la production proprement dite d'assemblages soudés :

- paramètres de soudage
- matériaux de base
- matériaux de remplissage
- gaz de protection
- technique de soudage

Tous les procédés de soudage doivent être qualifiés avant de commencer à souder en production.
Les procédés de soudage doivent être qualifiés sur la base d'essais en laboratoire.
Un procédé de soudage est considéré comme qualifié si les imperfections de l'essai se situent dans les limites spécifiées dans la norme EN 25817.

©Copyright Tecnostrutture srl

La qualification du procédé de soudage, en référence aux paramètres spécifiés dans le WPS, a une plage de validité clairement définie.

Les variables essentielles de la qualification sont identifiées en fonction de la réglementation appliquée, auxquelles la plage de validité doit être associée. Ces variables sont :

-le type de procédé de soudage (MAG, MIG, TIG, électrode enrobée, arc submergé, etc.) ;
- le métal de base à souder (acier au carbone, acier inoxydable, etc.) ;
- le type de composants à souder (tuyaux, tôles, etc.) ;
- le type d'assemblage et sa préparation (bout à bout, assemblage en V, assemblage en X, etc.) ;
- le soudage d'un seul côté, avec ou sans support, et des deux côtés ;
- le diamètre et l'épaisseur des tuyaux et des tôles ;
- la classification des matériaux d'apport (fils GMAW, métaux fourrés, électrodes enrobées, gaz de protection, etc.) ;
- les paramètres électriques, tels que la vitesse de soudage, l'apport de chaleur, la tension, l'intensité du courant, etc. ;
- la répétition du processus de qualification.

Les essais préliminaires sont effectués avec la même technique d'exécution et les mêmes fils et gaz de protection qui seront utilisés dans la fabrication des poutres et des poteaux.
Les mêmes essais préliminaires sont répétés, jusqu'à obtention de résultats positifs, pour toute modification envisagée concernant le type de gaz de protection et/ou de fils à utiliser.

Inspections du procédé de soudage

Pour le soudage, une inspection visuelle à 100 % par les opérateurs est requise.
Des contrôles non destructifs des soudures (avec des liquides pénétrants ou magnétoscopiques) doivent être effectués par un organisme accrédité, sur un échantillon sur chaque commande en cours tous les 50 000 kg de produits en fabrication (en moyenne 2 contrôles hebdomadaires), conformément à la norme prévue au chap. § 12.4.2 d'EN 1090-2:2018 et au tableau 24 de la norme UNI susmentionnée (voir ci-dessous).

Ces inspections doivent être consignées sur un document spécifique (Mod. 08.01.08 « Registre de soudage »), sous la responsabilité du directeur technique du Centre de traitement, et l'organisme qui les a effectuées doit délivrer un certificat spécifique (s'il n'est pas interne).

Des contrôles non destructifs sur les soudures (ultrasons) doivent être effectués par un organisme extérieur si le contrat de vente ou le concepteur l'exige.

Ces essais doivent être consignés sur un document spécifique (Mod. 08.01.08 « Registre de soudage »), sous la responsabilité du directeur technique du Centre de traitement, et l'organisme qui les a effectuées doit délivrer un certificat spécifique.
Pour la mise en œuvre des tests et les niveaux d'acceptabilité, on peut se référer aux exigences de la norme EN ISO 17635:2010.

Étendue des contrôles non destructifs supplémentaires

TYPE DE SOUDAGE	LABORATOIRE ET SITE DE SOUDAGE		
	EXC2	EXC3	EXC4
Soudage bout à bout et pénétration partielle dans les assemblages soumis à une contrainte axiale			
U ≥ 0,5	10 %	20 %	100 %
U ≤ 0,5	0 %	10 %	50 %
Soudage bout à bout et soudage par pénétration partielle			
Assemblages croisés	10 %	20 %	100 %
Assemblages en T	5 %	10 %	50 %
Arête d'angle soumise à une coupe ou à une contrainte axiale			
a >12 mm ou s >20 mm	5 %	10 %	20 %
a >12 mm ou s ≤20 mm	0 %	5 %	10 %
Poutre en fer à âme pleine à pénétration longitudinale (grues ou engins de levage)	10 %	20 %	100 %
Autres soudures longitudinales et soudures de renfort	0 %	5 %	10 %

REMARQUE 1 : Les soudures longitudinales sont celles qui s'effectuent parallèlement à l'axe du composant. Toutes les autres sont considérées comme des soudures transversales.
REMARQUE 2 : U= Degré d'utilisabilité en fonction de l'état limite de service des soudures dans les combinaisons semi-permanentes. U= Ed/Rd où Ed est la plus grande action générée sur la soudure et Rd est la résistance de la soudure à l'état limite ultime.
REMARQUE 3 : Les termes a et s désignent respectivement l'épaisseur de la gorge de la soudure et la plus grande épaisseur des composants assemblés.

Librement traduit de : Tableau 24, EN 1090-2:2018

 ©Copyright Tecnostrutture srl

Pour des indications supplémentaires concernant les inspections sur le soudage, se référer au chap. 12.4 d'EN 1090 - 2:2018.

Assemblages soudés

Les assemblages réalisés doivent répondre aux exigences d'acceptabilité requises par des réglementations spécifiques, en fonction du type d'inspection à effectuer, comme par exemple :

EN ISO 17637 : « Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle visuel des assemblages soudés par fusion »
EN ISO 10675-1 : « Contrôle non destructif des assemblages soudés – Niveaux d'acceptation pour évaluation par radiographie – Partie 1 : acier, nickel, titane et leurs alliages »
EN ISO 23278 : « Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle par magnétoscopie – Niveaux d'acceptation »
EN ISO 23277 : « Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle par ressuage – Niveaux d'acceptation »
EN ISO 11666 : « Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle par ressuage – Niveaux d'acceptation »

Voici les assemblages soudés typiques du système NPS® tirés du « Welding Book » Mod. 08.01.07) ; *Tecnostrutture a tabulé tous les assemblages à l'intérieur du treillis de manière à simplifier le calcul et la production des éléments ; ces informations techniques font partie de son savoir-faire confidentiel.*

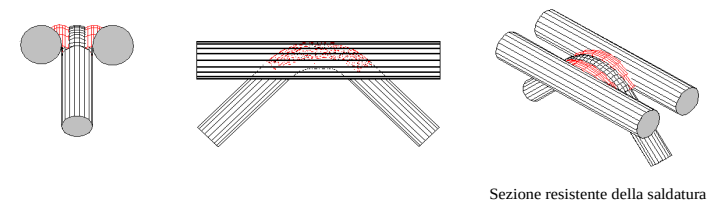


Figure 20. Soudure entre les membrures et les renforts de l'âme pour poutre NPS®

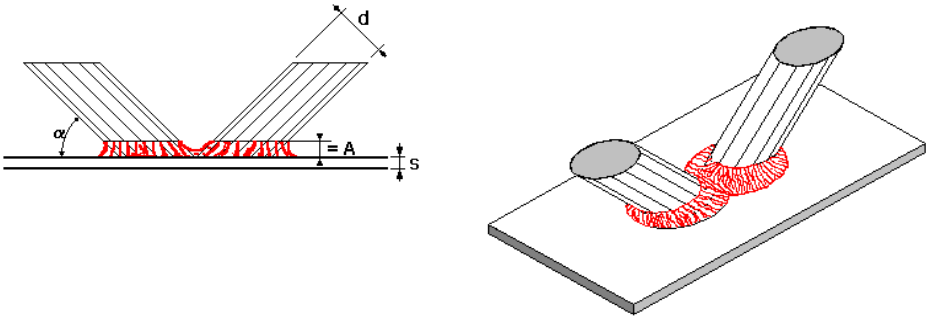
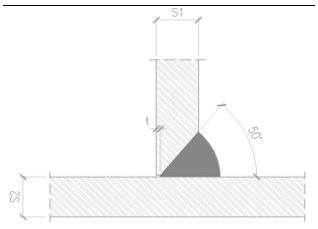


Figure 21. Soudure entre les renforts de l'âme et la plaque de fixation inférieure pour poutre NPS®

Figure 22. Soudure entre les renforts inférieurs et l'élément d'appui pour poutre NPS®



©Copyright Tecnostrutture srl

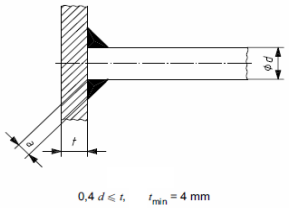


Figure 23. Soudure entre le tuyau et les plaques pour poteau NPS® PDTI®

©Copyright Tecnostrutture srl

4.5-Tolérance et inspections finales du produit fini

Inspections du produit fini

Avant la livraison, les produits sont soumise aux inspections et contrôles suivants de la part du fabricant :

-contrôle dimensionnel des formes, avec des tolérances conformes à la norme EN 1090-2 ;
-contrôles du soudage (conformément aux exigences précédentes) ;
-contrôle de la documentation ;
-contrôle des références et reconnaissance des produits ;

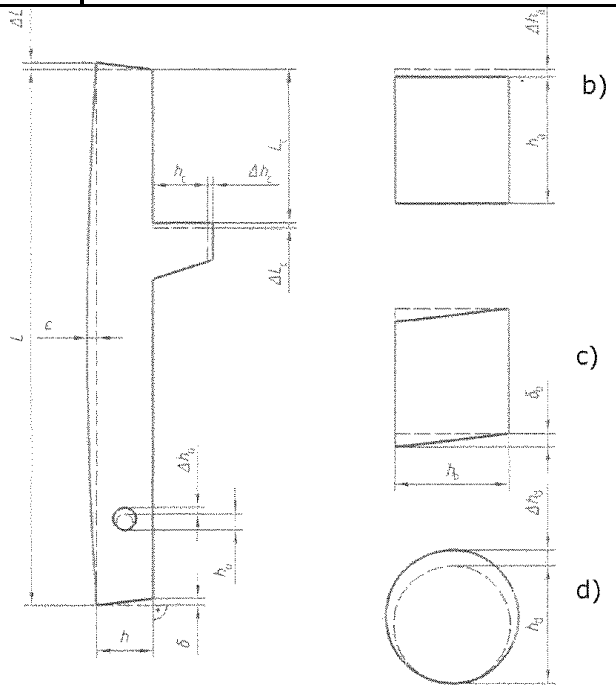
Tolérance

Le tableau suivant présente les tolérances dimensionnelles d'acceptation pour les différents composants de la poutre (conformément à la norme UNI EN 1090-2). Le niveau d'acceptation en termes de tolérance est appelé Essentiel.
Si l'indication de l'élément ne relève pas des registres prévus par le règlement de référence, il convient de mentionner le règlement le plus proche.

PLAQUE INFÉRIEURE (bxsp)xL	LONGUEUR	Voir dessin en perspective 1 par. 4.1 UNI EN ISO 13920 (CL C)
	FIXATIONS	Δ= ±L/500 ma IΔI ≥12 mm
	LARGEUR	Δ= -b/100
	ÉPAISSEUR	Conformément au dessin technique
	DÉF. LOCALE	Δ= ±b/100
	ONDULATIONS	Δ= ±b/100
	ÉPAISSEUR	Δ= ±L/750
CANULES SUPÉRIEURES	LONGUEUR	Voir dessin en perspective 1 par. 4.1 UNI EN ISO 13920 (CL C)
	DIMENSION	Conformément au dessin technique
CANULES INFÉRIEURES	LONGUEUR	Voir dessin en perspective 1 par. 4.1 UNI EN ISO 13920 (CL C)
	DIMENSION	Conformément au dessin technique
DISPOSITIFS DE SUPPORT	LONGUEUR	Δ= ± 3 mm
	DIMENSION	Conformément au dessin technique
	PROTRUSION Rh	Δ= ± 3 mm
	PROTRUSION Lh	Δ= ± 3 mm
POUTRES COURTES	LONGUEUR	Voir dessin en perspective 1 par. 4.1 UNI EN ISO 13920 (CL C)
	DIMENSION	Conformément au dessin technique
ÂMES	HAUTEURS DES ÂMES	Δ= ± L/750
	PAS DES ÂMES	Voir dessin en perspective 1 par. 4.1 UNI EN ISO 13920 (CL C)
	DIMENSIONS mm	Conformément au dessin technique

©Copyright Tecnostrutture srl

CONTRAINTES	DIMENSIONS	Conformément au dessin technique
TIGES	DIMENSIONS	Conformément au dessin technique
POUTRE	HAUTEUR	Δ= -h/50
	ORTHOGONALITÉ	Δ= ± h/200 ma IΔI >=Tw (Sp)
	LONGUEUR	Voir dessin en perspective 1 par. 4.1 UNI EN ISO 13920 (CL C)
HALFEN ET ACCESSOIRES	POSITIONNEMENT mm	+/- 5
CÔTÉS	HAUTEUR	Δ= -h/50
	LONGUEUR	Voir dessin en perspective 1 par. 4.1 UNI EN ISO 13920 (CL C)
TROUS, COUPES	POSITION mm	+/- 5
TUYAUX POUR PARAPETS	POSITION mm	+/- 5



DIMENSION	Tolérance	
L :LONGUEUR DU POTEAU	+/-(10+L/1000)	
TAILLE DE LA SECTION	IF ≤ 150	+/-5
	IF < 400	+10 ; -5
	IF < 2500	+/-15
ORTHOGONALITÉ (δ)	± h/100<5 mm	
FIXATIONS (ε)	± L/700	

Avant la livraison, les fabricants doivent demander au personnel technique autorisé de vérifier que la documentation relative à la poutre est complète et conforme aux exigences inhérentes au présentes INSTRUCTIONS DE PRODUCTION du Système NPS® et aux réglementations techniques et juridiques en vigueur.

Les éléments NPS® doivent être clairement et visiblement identifiés au moyen de signes fournis par Tecnostrutture. L'étiquette contient des informations relatives au produit individuel.

©Copyright Tecnostrutture srl

4.6-Documentation technique

Fourniture des documents d'accompagnement

Le chef de projet, les transporteurs et les entreprises qui utilisent les produits du présent procédé doivent disposer des exigences standards en matière de manutention et de montage, ainsi que de toutes les indications que le Directeur Technique du centre de traitement juge appropriées en fonction du type et/ou de chaque produit spécifique.
Le chef de projet et l'entreprise maitre d'ouvrage utilisant les composants du système NPS® doivent fournir, avec le rapport technique, les dessins, les caractéristiques et les limites d'utilisation des produits faisant l'objet de la fourniture, ainsi que toute exigence supplémentaire du concepteur de la structure et/ou du bureau d'études du fabricant en rapport avec les travaux auxquels ces produits sont destinés.

Certification

Chaque fourniture de chantier doit être accompagnée de :

- Déclaration de performance conformément au Règlement UE n° 305:2011 ;
- Marquage CE conformément à la norme des produits ;
- Si nécessaire, une certification spécifique concernant : les matières premières, le rapport de soudage et les tests supplémentaires.

4.7-Manutention

Exigences d'exercice

Dans le cadre des exigences les plus strictes imposées par les fabricants en ce qui concerne les types de matériaux et les modes de transport spécifiques, les exigences standards suivantes doivent toujours être fournies aux transporteurs.
Les poutres doivent être manipulées avec précaution, en évitant toujours tout impact soudain.

-Lors du chargement des poutres sur les équipements de transport, elles doivent toujours être positionnées et arrimées afin d'éviter tout mouvement pendant le transport.
-Lors du déchargement des poutres du camion, celles-ci doivent être soulevées avec précaution.
-Les composants du système NPS® ne doivent pas glisser en basculant du plancher du camion.

Chaque livraison doit être conforme au manuel d'instructions de montage, de manutention, de pose et de réglage fourni par Tecnostrutture srl (annexe 01).

©Copyright Tecnostrutture srl

4.8-Plan de production et d'assurance qualité

Produit : Poutres NPS® Basic / Cls et poteaux PDTI®

PHASE		DOCUMENT	ADRESSE DU SITE	CONTRÔLE	MOYENS DE CONTRÔLE	FRÉQUENCE DES CONTRÔLES	TOLÉRANCE	RESPONSABLE DU CONTRÔLE	DOCUMENT PRODUIT
PARTIE EN ACIER DU SYSTÈME NPS	1a	P08040100 « Acceptation d'achat »	Via Volta 36, 30020 Noventa di Piave (VE) Italie	Contrôles à la réception	Mod. 08.04.02	Chaque Arrivage	Mod. 08.04.02	Rmag	Mod. 08.04.02
	1b	P08040100 « Acceptation d'achat »		Identification des matières premières pour les pièces en acier	Contrôle visuel	Chaque fourniture, 100 % des matières premières	UNI EN 10025	Rmag	Registre acier Mod. 08.04.05 (interne)
	1c				Contrôle documentaire pour tous les produits conformément à la norme UNI EN 10025 (certificat 3.1 présent)				
	1d	P08010000 « Gestion Production »	Via Volta 36, 30020 Noventa di Piave (VE) Italie	Opérations de coupe	Contrôle visuel	100 % des produits	Mod. 08.01.02	Opérateur	Liste de production et schémas officiels Mod. 08.03.06/07 (interne)
	1e			Opérations de cambrage					
	1f			Assemblage	Examen visuel et contrôle dimensionnel				
	1g			Coupe et cambrage pour B450C	Contrôle en laboratoire	3 Prélèvements d'échantillons tous les 90 [tonnes] de fournitures	NTC 2018 EN 10080	Laboratoire officiel	Certificat du laboratoire officiel

©Copyright Tecnostrutture srl

	1h			Assemblage du B450C	Examen visuel et contrôle dimensionnel	100 % des produits	Mod. 08.01.02	Opérateur	Liste de production et schémas officiels Mod. 08.03.06/07 (interne)
	1i			Contrôle des dimensions et de la configuration des soudures	Contrôle visuel	Conformément au tabl. 24 EN 1090-2:2008	UNI EN ISO 5817	Qualification des techniciens selon la norme UNI EN 9712:2012	Certificat officiel Mod. 08.01.04 et Mod. 08.01.05
	1l			Contrôle des pièces soudées	Contrôle non destructif (MT)	Conformément au tabl. 24 EN 1090-2:2008	UNI EN 23278		
	1m			Vérification de la conformité du produit (correspondance de l'étiquette d'identification)	Contrôle visuel	100 % des produits	-	RAQ	-
COULAGE DE PIÈCES PRÉFABRIQUÉES (SI NÉCESSAIRE)	2a	P08010000 « Gestion Production » IO08011300 « Jets intégrés au CLS »	Via Volta 36, 30020 Noventa di Piave (VE) Italie Béton fourni	Préparation du coffrage	Contrôle visuel	Chaque production	Mod. 08.04.02	Opérateur	-
	2b			Coulage de la pièce préfabriquée	Contrôle visuel ; test officiel sur la fourniture en béton à 28 jours	Chaque production : 6 échantillons 150x150x150 de béton pour chaque jour de production pour le même mélange	-	Laboratoire externe Responsable du produit	Registre du béton Mod. 08.04.05 (interne) 08011000 « Acceptation Dimensionnelle Poutre NPS Cls »

©Copyright Tecnostrutture srl

			par un fournisseur qualifié			Chaque élément			
TRANSPORT ET LIVRAISON	3	P08010000 « Gestion Production » P08050500 « Gestion des installations sur les Chantiers »	Via Volta 36, 30020 Noventa di Piave (VE) Italie	Vérification de l'adéquation du transport	Contrôle documentaire et visuel	Chaque livraison	-	Responsable du produit	Document de transport 08011200 DDT

Produit : Poteaux PTC®

PHASE		DOCUMENT	ADRESSE DU SITE	CONTRÔLE	MOYENS DE CONTRÔLE	FRÉQUENCE DES CONTRÔLES	TOLÉRANCE	RESPONSABLE DU CONTRÔLE	DOCUMENT PRODUIT
PARTIE EN ACIER DU SYSTÈME NPS	1a	P08040100 « Acceptation d'achat »	Via Volta 36, 30020 Noventa di Piave (VE) Italie	Contrôles à la réception	Mod. 08.04.02	Chaque Arrivage	Mod. 08.04.02	Rmag	Mod. 08.04.02
	1b	P08040100 « Acceptation d'achat »		Identification des matières premières pour les pièces en acier	Contrôle visuel	Chaque fourniture, 100 % des matières premières	UNI EN 10025	Rmag	Registre acier Mod. 08.04.05 (interne)
	1c				Contrôle documentaire pour tous les produits conformément à la				

©Copyright Tecnostrutture srl

					norme UNI EN 10025 (certificat 3.1 présent)				
	1d	P08010000 « Gestion Production »	Via Volta 36, 30020 Noventa di Piave (VE) Italie	Opérations de coupe	Contrôle visuel	100 % des produits	Mod. 08.01.02	Opérateur	Liste de production et schémas officiels Mod. 08.03.06/07 (interne)
	1e			Opérations de cambrage					
	1f			Assemblage	Examen visuel et contrôle dimensionnel				
	1g			Coupe et cambrage pour B450C	Contrôle en laboratoire	3 Prélèvements d'échantillons tous les 90 [tonnes] de fournitures	NTC 2018 EN 10080	Laboratoire officiel	Certificat du laboratoire officiel
	1h			Assemblage du B450C	Examen visuel et contrôle dimensionnel	100 % des produits	Mod. 08.01.02	Opérateur	Liste de production et schémas officiels Mod. 08.03.06/07 (interne)
	1i			Contrôle des dimensions et de la configuration des soudures	Contrôle visuel	Conformément au tabl. 24 EN 1090-2:2008	UNI EN ISO 5817	Qualification des techniciens selon la norme UNI EN 9712:2012	Certificat officiel Mod. 08.01.04 et Mod. 08.01.05
	1l			Contrôle des pièces soudées	Contrôle non destructif (MT)	Conformément au tabl. 24 EN 1090-2:2008	UNI EN 23278		

©Copyright Tecnostrutture srl

	1m			Vérification de la conformité du produit (correspondance de l'étiquette d'identification)	Contrôle visuel	100 % des produits	-	RAQ	-
COULAGE DES PARTIES PRÉFABRIQUÉES	2a	P08010000 « Gestion Production » IO08011300 « Jets intégrés au CLS »	Via Lombardia 14, 35043 Monselice (PD) Italie	Préparation du coffrage	Contrôle visuel	Chaque production	Mod. 08.04.02	Opérateur	-
	2b			Coulage de la pièce préfabriquée	Contrôle visuel ; test officiel sur la fourniture en béton à 28 jours	Chaque production : 6 échantillons 150x150x150 de béton pour chaque jour de production pour le même mélange Chaque élément	-	Laboratoire externe Responsable du produit	Registre du béton Mod. 08.04.05 (interne) 08011000 « Acceptation Dimensionnelle Poutre NPS Cls »
TRANSPORT ET LIVRAISON	3	P08010000 « Gestion Production » P08050500 « Gestion des installations sur les Chantiers »	Via Lombardia 14, 35043 Monselice (PD) Italie	Vérification de l'adéquation du transport	Contrôle documentaire et visuel	Chaque livraison	-	Responsable du produit	Document de transport 08011200 DDT

Pour plus d'informations sur le Plan de Production et d'Assurance Qualité, voir l'annexe 03 « Plan de Fabrication et de Contrôle ».

©Copyright Tecnostrutture srl

©Copyright Tecnostrutture srl

5-Projets principaux

Voir Annexe 7.

©Copyright Tecnostrutture srl

6-Essais et Recherche

Tecnostrutture a effectué plusieurs tests au cours de son histoire avec différents objectifs et partenaires techniques. À l'heure actuelle, quatre projets de recherche indépendants sont en cours avec quatre universités en Italie : Universités de Gênes, Pise, Rome et Padoue ; au cours de ses 20 ans d'histoire, Tecnostrutture a travaillé avec de nombreux instituts scientifiques dans le monde entier :

https://www.tecnostrutture.eu/ricerca-e-sviluppo/partner-scientifici.html

Et est devenu le promoteur de plusieurs publications :

https://www.tecnostrutture.eu/ricerca-e-sviluppo/pubblicazioni.html

Au tout début, le nom commercial était différent (REP® System), et il a été modifié en NPS® en 2011 ; le premier projet de recherche (de 2004 à 2009 avec l'Université de Padoue et l'IUAV de Venise) a développé le système NPS® standard comme celui décrit dans ces documents techniques.
Les annexes suivantes (de l'Annexe 04 à l'Annexe 07) décrivent les principaux résultats de cette recherche et présentent une analyse complète des caractéristiques innovantes indiquées dans ce document (§2) ; les annexes proposées clarifient entièrement les caractéristiques innovantes et montrent la validité du système de construction. Dans la perspective d'une philosophie d'innovation continue, Tecnostrutture continue d'optimiser son système et sa procédure d'évaluation afin de garantir la sécurité, l'excellence et la réduction du temps de montage sur le chantier.

En ce qui concerne les poutres NPS®, comme indiqué à l'annexe 5, les expériences ont été réalisées au laboratoire du département d'ingénierie de la construction et des transports de l'université de Padoue, sous la supervision de l'Ing. R. Scotta.

Le but des essais était de vérifier le comportement des poutres à la fois lors de la première phase (avec le seul treillis à nu) et lors de la deuxième phase (avec le béton de finition coulé) sous des sollicitations de flexion et de cisaillement. Les résultats expérimentaux ont été comparés aux évaluations théoriques sur la base de la méthodologie de conception actuellement utilisée pour ces poutres. Différents types de poutres NPS® ont été testés afin de couvrir toute la gamme proposée par l'entreprise : Basic NPS® (appelé à l'époque Rep® NOR), Ecotrave NPS® et PreREP (ne faisant pas l'objet de ce document) et Cls NPS® (appelé à l'époque Rep® CLS).
Pour la première typologie (Basic NPS®), huit treillis identiques ont été produits, avec une section similaire. Quatre d'entre eux ont été testés sans coulage de béton de finition et les quatre autres ont été testés avec le coulage de finition. Dix expériences ont été menées sous des charges de cisaillement et de flexion différentes jusqu'à la rupture.

Enfin pour le Cls NPS®, les poutres testées ont été conçues afin d'obtenir des modes de rupture en flexion et en cisaillement dans deux expériences consécutives sur les mêmes poutres en évitant la superposition d'endommagements de type différent. Tout d'abord, quatre essais de flexion symétrique des points de charge ont été effectués en utilisant la poutre sur toute sa longueur et deux points de charge proches l'un de l'autre au milieu. Ensuite, les mêmes poutres ont été soumises à un test en trois points de charge avec la charge la plus proche du premier support et avec une portée réduite afin d'obtenir une rupture en cisaillement.
Douze poutres ont été réalisées avec des rapports d'acier et un espacement diagonal des barres variables. Les poutres avaient des sections transversales résistantes différentes en termes de quantité de béton et d'acier.

©Copyright Tecnostrutture srl

Juste pour un rapide aperçu, la gamme de section testée au cours de cette recherche a été :

Type NPS®	Forme de la section (*hxb*)	Membrure supérieure (*n°/Ø*)	Membrure inférieure (*n°/Ø*)	Diagonale (*n°/Ø*)
Basic NPS®	20 x 20 cm	3 / Ø14	200 x 5	2 / Ø10
Cls NPS®	24 x 25 cm	3 / Ø28	4 / Ø28	2 / Ø14
Cls NPS®	24 x 30 cm	3 / Ø30	4 / Ø30	2 / Ø14
Cls NPS®	24 x 40 cm	3 / Ø28	4 / Ø28	2 / Ø14
Cls NPS®	34 x 25 cm	3 / Ø30	4 / Ø30	2 / Ø14
Cls NPS®	34 x 30 cm	3 / Ø30	4 / Ø30	2 / Ø14
Cls NPS®	34 x 40 cm	3 / Ø28	4 / Ø28	2 / Ø14
Cls NPS®	44 x 25 cm	3 / Ø26	4 / Ø28	2 / Ø14
Cls NPS®	44 x 30 cm	3 / Ø30	4 / Ø30	2 / Ø14
Cls NPS®	44 x 40 cm	3 / Ø30	4 / Ø30	2 / Ø14
Cls NPS®	54 x 25 cm	3 / Ø30	4 / Ø30	2 / Ø16
Cls NPS®	54 x 30 cm	3 / Ø30	4 / Ø30	2 / Ø14
Cls NPS®	54 x 40 cm	3 / Ø30	4 / Ø30	2 / Ø14

Enfin, l'assemblage PTC® du poteau NPS® à la poutre, en référence à l'Annexe 6, a été testé afin de vérifier le comportement statique de cette connexion entre différents niveaux.
Quatre ensembles poteau-poutre ont été construits à l'aide de poutres mixtes acier-béton en treillis d'acier et béton avec une base en béton et des treillis supplémentaires traversant le nœud ; les formes des éléments testés sont les suivantes :

Type NPS®	Forme de la section (*hxb*)	Membrure supérieure (*n°/Ø*)	Membrure inférieure (*n°/Ø*)	Diagonale (*n°/Ø*)
Cls NPS®	45 x 55 cm	4 / 30x30	6 / 30x30	2 / 20x20
PTC® NPS®	33 x 55 cm	4 / Ø30	4 / Ø30	1 / Ø12

Pour des résultats supplémentaires, la description du test et la comparaison avec la conception théorique, voir les Annexes 5 et 6 ci-jointes.

©Copyright Tecnostrutture srl

©Copyright Tecnostrutture srl

7-Annexe

<u>Annexe 01 :</u> Manuel d'instructions du système NPS® pour le montage, la manutention, la pose et le réglage du système

<u>Annexe 02 :</u> Livret de certifications de Tecnostrutture

<u>Annexe 03 :</u> Plan de production et de contrôle

<u>Annexe 04 :</u> Poutres mixtes acier-béton en treillis d'acier et béton et assemblage poutre-poteaux pour structures antisismiques : Modélisation, analyse numérique et vérifications expérimentales

<u>Annexe 05 :</u> Système NPS® : poutres mixtes acier-béton en treillis d'acier et béton

<u>Annexe 06 :</u> Essai statique et cyclique sur les éléments d'assemblage mixtes acier-béton entre les poutres en acier et le poteau en béton à haute résistance (HSC)

<u>Annexe 07 :</u> Projets principaux

<u>Annexe 08 :</u> Approbation technique par le bureau central pour les constructions du gouvernement italien (traduction libre)

<u>Annexe 09 :</u> Évaluation de la résistance au feu des structures composites acier-béton appelées système NPS® de Tecnostrutture

©Copyright Tecnostrutture srl