

**Τίτλος έργου:** Διασυνδεδεμένες Πόλεις για την Ελλάδα 2.0

**Κωδικός:** TAEDR-0536642

**MIS (ΟΠΣ):** 5149305



**Παραδοτέο:** Π2.1

**Τίτλος:** Σημειολογικό μοντέλο μεταδεδομένων και αναπαράσταση στοιχείων

Σελίδα 1 | 32

## Συμμετέχοντες

Φορέας
Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ)
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ)
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας (ΠΔΜ)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (ΠΘ)
Πανεπιστήμιο Πατρών (ΠΠ)

# Περιεχόμενα

Συμμετέχοντες	2
Περιεχόμενα	3
1 Περίληψη	4
2 Εισαγωγή	6
2.1 Σκοπός και στόχοι του παραδοτέου	6
2.2 Συσχέτιση με το έργο	7
2.3 Δομή του παραδοτέου	8
3 Μεθοδολογία και Προσέγγιση	9
3.1 Ανάλυση απαιτήσεων	9
3.2 Σχεδιασμός σημασιολογικού μοντέλου	10
3.3 Χρήση data spaces και τεχνολογιών FIWARE	11
4 Σημασιολογικό Μοντέλο και Τεχνολογίες Υλοποίησης	12
4.1 Περιγραφή οντοτήτων και χαρακτηριστικών	12
4.2 NGSI-LD smart data models στο έργο SmartCities	14
4.3 NGSI-LD context brokers	18
4.4 Συμβατότητα σημασιολογικού μοντέλου με αρχιτεκτονική μετα-πλατφόρμας	21
5 Παραδείγματα και Εφαρμογές	24
5.1 Αντιστοίχιση Δεδομένων σε NGSI-LD	26
5.2 Querying Δεδομένων από τον Scorpio Context Broker	28
6 Σύνοψη	30
7 Αναφορές	32

# 1 Περίληψη

Το παραδοτέο Π2.1 αφορά την ανάπτυξη και τεκμηρίωση ενός σημασιολογικού μοντέλου μεταδεδομένων στο πλαίσιο του έργου «Διασυνδεδεμένες Πόλεις για την Ελλάδα 2.0», με βασικό στόχο την οργάνωση, ενοποίηση και διαλειτουργική διαχείριση δεδομένων που προέρχονται από ετερογενείς αστικές πηγές. Ενδεικτικά, τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν περιβαλλοντικές μετρήσεις, πληροφορίες διαχείρισης απορριμμάτων, δεδομένα στάθμευσης και στοιχεία κινητικότητας πολιτών, τα οποία σήμερα παράγονται και διατίθενται από διαφορετικά συστήματα, με ανομοιογενή μορφή και επίπεδο σημασιολογικής ωριμότητας.

Το προτεινόμενο σημασιολογικό μοντέλο βασίζεται στο πρότυπο NGSI-LD, το οποίο αποτελεί σύγχρονο ευρωπαϊκό πρότυπο για τη διαχείριση πληροφοριών συμφραζομένων (context information) και αξιοποιεί τεχνολογίες Linked Data. Παράλληλα, γίνεται εκτεταμένη χρήση των FIWARE Smart Data Models, τα οποία παρέχουν τυποποιημένα και επαναχρησιμοποιήσιμα μοντέλα δεδομένων για εφαρμογές έξυπνων πόλεων και IoT. Η επιλογή αυτή διασφαλίζει υψηλό επίπεδο σημασιολογικής διαλειτουργικότητας, ευκολία ενσωμάτωσης δεδομένων από πολλαπλές πηγές και συμβατότητα με υφιστάμενες και μελλοντικές ψηφιακές υποδομές.

Στο πλαίσιο του παραδοτέου υλοποιείται αναλυτική αντιστοίχιση (mapping) μεταξύ των διαθέσιμων δεδομένων των συμμετεχουσών πόλεων και των υπαρχόντων NGSI-LD smart data models. Για περιπτώσεις όπου τα υφιστάμενα μοντέλα δεν καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις των εφαρμογών, προτείνονται επεκτάσεις ή η δημιουργία νέων μοντέλων, με τρόπο που διατηρεί τη συμβατότητα με το NGSI-LD οικοσύστημα. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την ομοιόμορφη αναπαράσταση δεδομένων, ανεξάρτητα από την αρχική τους πηγή ή μορφή.

Η υλοποίηση του σημασιολογικού μοντέλου βασίζεται στον Scorpio Context Broker, ο οποίος επιλέχθηκε λόγω της πλήρους υποστήριξης του προτύπου NGSI-LD, της δυνατότητας διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων και της υποστήριξης προηγμένων χωρικών και χρονικών επερωτήσεων (queries). Ο Context Broker επιτρέπει τόσο την αποθήκευση και διάθεση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο όσο και τη διαχείριση ιστορικών δεδομένων, διευκολύνοντας την ανάλυση τάσεων, τη συσχέτιση γεγονότων και τη βελτιστοποίηση λειτουργιών σε επίπεδο πόλης και μεταπλατφόρμας.

Ως πιλοτική εφαρμογή παρουσιάζεται η πόλη του Ηρακλείου, όπου δεδομένα συλλέγονται από υφιστάμενα δημοτικά APIs και συστήματα, μετασχηματίζονται σε μορφή NGSI-LD μέσω κατάλληλου ενδιάμεσου μηχανισμού και αποθηκεύονται στον Scorpio Context Broker. Η εφαρμογή αυτή ανέδειξε τη δυνατότητα ενοποίησης δεδομένων από διαφορετικές πηγές και τη χρήση τους μέσω ενιαίου σημασιολογικού μοντέλου, υποστηρίζοντας εφαρμογές πραγματικού χρόνου αλλά και ανάλυση ιστορικών δεδομένων.

Η προτεινόμενη προσέγγιση δύναται να εφαρμοστεί και σε περισσότερες πόλεις, δημιουργώντας ένα ενιαίο και διαλειτουργικό σύστημα διαχείρισης αστικών δεδομένων. Η ομοσπονδοποιημένη διασύνδεση τοπικών context brokers με έναν κεντρικό broker επιτρέπει την ανταλλαγή και αξιοποίηση δεδομένων σε εθνικό επίπεδο, συμβάλλοντας στη δημιουργία ενός ενοποιημένου οικοσυστήματος έξυπνων πόλεων. Η υιοθέτηση κοινών σημασιολογικών προτύπων και σύγχρονων αρχιτεκτονικών δεδομένων αναμένεται να οδηγήσει στη βελτίωση των αστικών λειτουργιών, στην ανάπτυξη καινοτόμων ψηφιακών υπηρεσιών και στη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

## 2 Εισαγωγή

### 2.1 Σκοπός και στόχοι του παραδοτέου

Η ψηφιοποίηση των σύγχρονων πόλεων και η ανάπτυξη διασυνδεδεμένων έξυπνων υπηρεσιών αποτελούν βασικούς πυλώνες του έργου SmartCities. Κεντρικός στόχος του έργου είναι η δημιουργία μιας καθολικής πλατφόρμας διαλειτουργικότητας, η οποία θα επιτρέπει την ασφαλή, αξιόπιστη και αποδοτική διαχείριση δεδομένων και υπηρεσιών σε αστικό περιβάλλον. Βασιζόμενη σε τεχνολογίες αιχμής, όπως οι Χώροι Δεδομένων (Data Spaces) [1] [5] και το οικοσύστημα FIWARE [4], η πλατφόρμα SmartCities φιλοδοξεί να προσφέρει ένα συνεκτικό και επεκτάσιμο πλαίσιο για τη συλλογή, ενοποίηση και αξιοποίηση δεδομένων από ετερογενείς πηγές, προάγοντας την καινοτομία και τη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

Το παρόν παραδοτέο έχει ως βασικό σκοπό την ανάπτυξη και τεκμηρίωση ενός σημασιολογικού μοντέλου μεταδεδομένων, το οποίο θα αποτελέσει θεμέλιο για την οργάνωση, διαχείριση και αναπαράσταση των δεδομένων στο πλαίσιο του έργου. Το μοντέλο αυτό αποσκοπεί στη δημιουργία μιας ενιαίας και συνεπούς σημασιολογικής αναπαράστασης, ικανής να υποστηρίξει τη διαλειτουργική ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, εφαρμογών και πόλεων.

Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι του παραδοτέου περιλαμβάνουν:

- **Κατανόηση και ανάλυση απαιτήσεων:** Εξακρίβωση και αποτύπωση των αναγκών που σχετίζονται με τη διαχείριση και αναπαράσταση αστικών δεδομένων με σημασιολογικό τρόπο, ώστε να διασφαλίζεται η διαλειτουργικότητα, η επαναχρησιμοποίηση και η ευκολία αξιοποίησής τους από πολλαπλές εφαρμογές.
- **Σχεδίαση ευέλικτου σημασιολογικού μοντέλου:** Ανάπτυξη ενός προσαρμοστικού και επεκτάσιμου μοντέλου μεταδεδομένων, το οποίο υποστηρίζει την ενσωμάτωση δεδομένων από διαφορετικές πηγές και τομείς, με έμφαση στη συμβατότητα με υφιστάμενες αλλά και μελλοντικές τεχνολογίες και πρότυπα.
- **Υποστήριξη τεχνολογιών FIWARE και NGS-LD:** Αξιοποίηση σύγχρονων προτύπων, όπως το NGS-LD, για την ενίσχυση της διαχείρισης δεδομένων μέσω ασφαλών, διαλειτουργικών και σημασιολογικά πλούσιων λύσεων, πλήρως ευθυγραμμισμένων με το οικοσύστημα FIWARE.

- **Παροχή αναλυτικής τεκμηρίωσης:** Δημιουργία σαφούς και πρακτικής τεκμηρίωσης που θα υποστηρίζει τους εμπλεκόμενους φορείς και τεχνικούς χρήστες στην κατανόηση, υιοθέτηση και επέκταση του σημασιολογικού μοντέλου σε νέα σενάρια και εφαρμογές.
- **Επιτάχυνση ανάπτυξης εφαρμογών:** Διευκόλυνση της ταχείας ανάπτυξης πιλοτικών και παραγωγικών εφαρμογών, όπως η παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων, η διαχείριση αποβλήτων και τα συστήματα στάθμευσης, με στόχο την άμεση αξιοποίηση των δεδομένων και την παραγωγή μετρήσιμων οφελών για τις πόλεις.

## 2.2 Συσχέτιση με το έργο

Το σημασιολογικό μοντέλο που αναπτύσσεται στο παρόν παραδοτέο αποτελεί κεντρικό και θεμελιώδες στοιχείο του έργου SmartCities, καθώς λειτουργεί ως η κοινή βάση για την οργάνωση, ενοποίηση και αξιοποίηση των δεδομένων που διαχειρίζεται η πλατφόρμα. Η ύπαρξη ενιαίου σημασιολογικού μοντέλου επιτρέπει την εναρμονισμένη αναπαράσταση δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές και τομείς εφαρμογής, διευκολύνοντας τη διαλειτουργική τους αξιοποίηση.

Πιο συγκεκριμένα, το σημασιολογικό μοντέλο συμβάλλει:

- **Στη σημασιολογική συμβατότητα δεδομένων από ετερογενείς πηγές,** επιτρέποντας την ενοποίηση πληροφοριών που προέρχονται από διαφορετικά συστήματα, αισθητήρες και υπηρεσίες των πόλεων.
- **Στην υποστήριξη καινοτόμων υπηρεσιών,** όπως εφαρμογές κινητικότητας, έξυπνης στάθμευσης και πρόβλεψης περιβαλλοντικών παραμέτρων, οι οποίες βασίζονται στη συνδυαστική αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και ιστορικών δεδομένων.
- **Στη διασύνδεση υφιστάμενων συστημάτων μέσω της πλατφόρμας SmartCities,** διασφαλίζοντας ότι η πληροφορία μπορεί να αξιοποιηθεί σε διαφορετικά επίπεδα (τοπικό, διαδημοτικό, εθνικό) και από πολλαπλές εφαρμογές και φορείς.

Μέσω της υιοθέτησης τεχνολογιών του οικοσυστήματος FIWARE και προτύπων όπως το NGSI-LD, το έργο θέτει τις βάσεις για τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα και την αξιοπιστία των δεδομένων. Παράλληλα, εξασφαλίζεται η ασφαλής και ελεγχόμενη χρήση των δεδομένων από δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς, ενώ προάγεται η δημιουργία σχέσεων εμπιστοσύνης μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, καθώς οι πάροχοι διατηρούν τον πλήρη έλεγχο και τη διαχείριση των δεδομένων τους.

## 2.3 Δομή του παραδοτέου

Το παραδοτέο Π2.1 οργανώνεται σε πέντε κύρια κεφάλαια, τα οποία καλύπτουν σταδιακά τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και την εφαρμογή του προτεινόμενου σημασιολογικού μοντέλου:

- **Εισαγωγή:** Παρουσιάζεται το αντικείμενο του παραδοτέου, οι βασικοί στόχοι, οι κύριες έννοιες και η συσχέτισή του με το έργο SmartCities.
- **Μεθοδολογία και Προσέγγιση:** Αναλύονται οι απαιτήσεις του έργου και περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό του σημασιολογικού μοντέλου.
- **Σημασιολογικό Μοντέλο και Τεχνολογίες Υλοποίησης:** Παρουσιάζονται οι τεχνολογίες, τα πρότυπα και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη και υλοποίηση του μοντέλου.
- **Παραδείγματα και εφαρμογές:** Περιγράφονται ενδεικτικά σενάρια χρήσης και παραδείγματα εφαρμογής του μοντέλου, με έμφαση στην πιλοτική περίπτωση της πόλης του Ηρακλείου.
- **Συμπεράσματα:** Συνοψίζονται τα βασικά αποτελέσματα του παραδοτέου και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική αξιοποίηση και επέκταση της προσέγγισης.

### 3 Μεθοδολογία και Προσέγγιση

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του σημασιολογικού μοντέλου μεταδεδομένων βασίστηκε σε στενή συνεργασία με τους εταίρους του έργου και τους εκπροσώπους των εμπλεκόμενων πόλεων. Η διαδικασία περιλάμβανε: (α) συλλογή και επικύρωση απαιτήσεων, (β) αποτύπωση/καταγραφή διαθέσιμων πηγών και σχημάτων δεδομένων, (γ) αντιστοίχιση των πεδίων σε υφιστάμενα NGSI-LD Smart Data Models, και (δ) τεκμηρίωση κενών (gaps) και προτάσεων για επεκτάσεις ή νέα μοντέλα όπου απαιτείται.

Η προσέγγιση αυτή διασφαλίζει ότι το παραγόμενο μοντέλο καλύπτει τις τρέχουσες επιχειρησιακές ανάγκες των πόλεων, ενώ παραμένει ευθυγραμμισμένο με διεθνή πρότυπα για context information management [3]. Ειδικότερα, η υιοθέτηση του προτύπου NGSI-LD (ETSI) [3] προσφέρει ένα κοινό πλαίσιο αναπαράστασης οντοτήτων, ιδιοτήτων και σχέσεων, υποστηρίζοντας τόσο real-time όσο και temporal/geo επερωτήσεις. Παράλληλα, η αξιοποίηση των FIWARE Smart Data Models [4] επιταχύνει την τυποποίηση και ενισχύει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών τομέων έξυπνων πόλεων.

Τέλος, η μεθοδολογία λαμβάνει υπόψη το ευρύτερο πλαίσιο Data Spaces για έξυπνες κοινότητες/πόλεις, όπου η διαλειτουργικότητα, η διακυβέρνηση και η επαναχρησιμοποίηση δεδομένων αποτελούν βασικές αρχές σχεδιασμού.<sup>1</sup>

#### 3.1 Ανάλυση απαιτήσεων

Η ανάλυση απαιτήσεων πραγματοποιήθηκε μέσω συχνών συναντήσεων με τους εταίρους του έργου και εκπροσώπους των εμπλεκόμενων πόλεων. Η διαδικασία περιλάμβανε:

- **Εντοπισμός αναγκών:** Η συλλογή πληροφοριών για τις υφιστάμενες υπηρεσίες πραγματοποιήθηκε με συχνές συναντήσεις με τους εταίρους του έργου και τις πόλεις που συμμετείχαν. Εξετάστηκαν οι απαιτήσεις για δεδομένα από τομείς όπως το περιβάλλον, η κινητικότητα και η διαχείριση αποβλήτων. Αναλύθηκαν οι υφιστάμενες λύσεις και οι ανάγκες τους για βελτίωση ή επέκταση.
- **Χαρτογράφηση δεδομένων:** Η διαδικασία περιλάμβανε τη λεπτομερή καταγραφή όλων των τύπων δεδομένων που χρησιμοποιούνται στις υπηρεσίες, όπως δεδομένα περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία), δεδομένα κινητικότητας (κυκλοφορία, στάθμευση) και δεδομένα αποβλήτων και υπηρεσιών πρασίνου (ποσότητες,

<sup>1</sup> <https://www.ds4sscc.eu/>

προγραμματισμοί αποκομιδής). Η καταγραφή έγινε με τη χρήση εργαλείων που υποστηρίζουν την αποτύπωση και την ανάλυση δεδομένων, ενσωματώνοντας πρότυπα από τη βιβλιογραφία.

- **Ομαδοποίηση δεδομένων:** Με βάση τα δεδομένα που καταγράφηκαν, δημιουργήθηκαν κατηγορίες για τη συστηματική οργάνωσή τους. Για παράδειγμα, τα δεδομένα στάθμευσης οργανώθηκαν σε κατηγορίες όπως «διαθεσιμότητα», «χρεώσεις» και «τοποθεσία», ενώ τα περιβαλλοντικά δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε «ατμοσφαιρικές μετρήσεις» και «μετρήσεις θορύβου». Αυτή η ομαδοποίηση διευκόλυνε την αντιστοίχιση με τα υπάρχοντα NGSI-LD data models.

## 3.2 Σχεδιασμός σημασιολογικού μοντέλου

Ο σχεδιασμός του σημασιολογικού μοντέλου βασίστηκε άμεσα στα αποτελέσματα της ανάλυσης απαιτήσεων και στις επιχειρησιακές ανάγκες που εντοπίστηκαν από τους εταίρους του έργου και τις συμμετέχουσες πόλεις. Κύριος στόχος της διαδικασίας ήταν η δημιουργία ενός συνεπούς, επεκτάσιμου και επαναχρησιμοποιήσιμου μοντέλου, ικανού να υποστηρίξει ετερογενή δεδομένα αστικών εφαρμογών με ενιαίο σημασιολογικό τρόπο.

Η διαδικασία σχεδιασμού περιλάμβανε τα ακόλουθα βασικά βήματα:

- **Αντιστοίχιση με NGSI-LD Smart Data Models:** Τα δεδομένα που καταγράφηκαν κατά τη φάση ανάλυσης απαιτήσεων χαρτογραφήθηκαν σε υφιστάμενα NGSI-LD Smart Data Models, τα οποία παρέχουν τυποποιημένα και ευρέως αποδεκτή αναπαράσταση οντοτήτων, ιδιοτήτων και σχέσεων για εφαρμογές έξυπνων πόλεων. Η αντιστοίχιση αυτή επέτρεψε την αξιοποίηση ώριμων μοντέλων και μείωσε σημαντικά τον χρόνο και την πολυπλοκότητα σχεδιασμού.
- **Προσαρμογή και επέκταση μοντέλων:** Σε περιπτώσεις όπου τα υπάρχοντα μοντέλα δεν κάλυπταν πλήρως τις λειτουργικές ή τεχνικές απαιτήσεις των εφαρμογών, προστέθηκαν επιπλέον χαρακτηριστικά (attributes) ή σχέσεις (relationships), ακολουθώντας τις κατευθυντήριες γραμμές του προτύπου NGSI-LD [3]. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίστηκε η ευελιξία του μοντέλου, χωρίς να θίγεται η συμβατότητα με το ευρύτερο οικοσύστημα.
- **Διασφάλιση σημασιολογικής διαλειτουργικότητας:** Το μοντέλο σχεδιάστηκε ώστε να υποστηρίζει τη διασύνδεση και τη συνεργασία διαφορετικών συστημάτων και εφαρμογών μέσω κοινών προτύπων και σημασιολογικών συμβάσεων. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη συνεπή χρήση εννοιών, τύπων δεδομένων και μεταδεδομένων, προκειμένου να

επιτρέπεται η αξιόπιστη ανταλλαγή και συνδυαστική αξιοποίηση δεδομένων σε διαφορετικά επίπεδα.

Η παραπάνω προσέγγιση επιτρέπει την ανάπτυξη ενός σημασιολογικού μοντέλου που είναι ταυτόχρονα πρακτικό για άμεση εφαρμογή και επαρκώς γενικευμένο ώστε να υποστηρίζει μελλοντικές επεκτάσεις και νέα σενάρια χρήσης.

### 3.3 Χρήση data spaces και τεχνολογιών FIWARE

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε αξιοποιεί τις βασικές αρχές των Χώρων Δεδομένων (Data Spaces) και τις τεχνολογίες του οικοσυστήματος FIWARE, με στόχο την αξιόπιστη και διαλειτουργική υλοποίηση του σημασιολογικού μοντέλου. Οι Χώροι Δεδομένων παρέχουν ένα σύγχρονο πλαίσιο για την ασφαλή ανταλλαγή και επαναχρησιμοποίηση δεδομένων μεταξύ ανεξάρτητων φορέων, διατηρώντας παράλληλα τον έλεγχο και την κυριότητα των δεδομένων από τους παρόχους τους.

Συγκεκριμένα, η προσέγγιση περιλαμβάνει:

- **Data Spaces:** Δημιουργία πλαισίου που υποστηρίζει τη διαλειτουργικότητα, τη διακυβέρνηση και την ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών φορέων και πόλεων. Η χρήση κοινών σημασιολογικών προτύπων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματική λειτουργία ενός τέτοιου πλαισίου.
- **FIWARE Ecosystem:** Αξιοποίηση εργαλείων και πλατφορμών του οικοσυστήματος FIWARE, και ειδικότερα NGSI-LD context brokers (όπως ο Scorpio), για τη συλλογή, αποθήκευση, ενημέρωση και διάθεση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η επιλογή αυτή διασφαλίζει συμβατότητα με διεθνώς αποδεκτές αρχιτεκτονικές και διευκολύνει την ενσωμάτωση νέων πηγών δεδομένων.
- **Υιοθέτηση του προτύπου NGSI-LD:** Η συστηματική χρήση του NGSI-LD εξασφαλίζει ενιαία σημασιολογική αναπαράσταση δεδομένων, υποστήριξη χωρικών και χρονικών επερωτήσεων, καθώς και ευθυγράμμιση με σύγχρονες αρχιτεκτονικές έξυπνων πόλεων και Data Spaces.

Η συνδυαστική χρήση Data Spaces, FIWARE τεχνολογιών και NGSI-LD προτύπων διασφαλίζει ότι το αναπτυσσόμενο σημασιολογικό μοντέλο είναι προσαρμοσμένο στις πραγματικές ανάγκες των πόλεων, ενώ παραμένει ευθυγραμμισμένο με τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις και τα διεθνή πρότυπα διαλειτουργικότητας.

## 4 Σημαιολογικό Μοντέλο και Τεχνολογίες Υλοποίησης

### 4.1 Περιγραφή οντοτήτων και χαρακτηριστικών

Το NGSI-LD [3] (Next Generation Service Interface - Linked Data) είναι ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε από το **ETSI (European Telecommunications Standards Institute)** για τη μοντελοποίηση, διαχείριση και ανταλλαγή δεδομένων σε περιβάλλοντα IoT και Smart Cities, με έμφαση στη σημασιολογική διαλειτουργικότητα και στο συνδεδεμένο περιεχόμενο (Linked Data). Το πρότυπο εισάγει ένα ενιαίο και επεκτάσιμο μοντέλο αναπαράστασης πληροφοριών συμφραζομένων (context information), το οποίο επιτρέπει την ομοιόμορφη περιγραφή ετερογενών δεδομένων και τη συνδυαστική αξιοποίησή τους από διαφορετικά συστήματα και εφαρμογές.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου NGSI-LD συνοψίζονται ως εξής:

- **Βασισμένο σε Linked Data:** Υιοθετεί αρχές του Linked Data, επιτρέποντας τη σημασιολογική συσχέτιση δεδομένων και τη διαλειτουργικότητα μεταξύ ανεξάρτητων συστημάτων.
- **Σχεδιασμένο για IoT και Smart Cities:** Παρέχει ενοποιημένο μοντέλο δεδομένων για την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ αισθητήρων, συσκευών, υπηρεσιών και εφαρμογών.
- **Χρήση JSON-LD:** Αξιοποιεί το JSON-LD (JSON for Linked Data) ως φόρμα αναπαράστασης, επιτρέποντας την ενσωμάτωση σημασιολογικού πλαισίου (@context) και οντολογιών.
- **Υποστήριξη Context Brokers:** Η διαχείριση των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω NGSI-LD context brokers, οι οποίοι υποστηρίζουν ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο, αποθήκευση και προηγμένες επερωτήσεις.
- **Συμβατότητα με RESTful APIs:** Το πρότυπο βασίζεται σε RESTful αρχιτεκτονική, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση σε σύγχρονες web-based και cloud εφαρμογές.

Το NGSI-LD αποτελεί τη φυσική μετεξέλιξη του NGSIv2, επεκτείνοντάς το με πλήρη υποστήριξη σημασιολογικών εννοιών και σχέσεων. Η ανάπτυξη ενός σημασιολογικού μοντέλου μεταδεδομένων που βασίζεται στο NGSI-LD προϋποθέτει τον σαφή ορισμό οντοτήτων (entities), ιδιοτήτων (properties) και σχέσεων (relationships), ώστε να επιτυγχάνεται η διαλειτουργικότητα και η επαναχρησιμοποίηση των δεδομένων.

Κάθε οντότητα στο NGSI-LD αντιπροσωπεύει ένα αντικείμενο του πραγματικού κόσμου, όπως ένας σταθμός μέτρησης ποιότητας αέρα, ένας αισθητήρας περιβάλλοντος ή ένα σημείο

στάθμευσης. Οι ιδιότητες περιγράφουν την κατάσταση και τα χαρακτηριστικά της οντότητας (π.χ. μετρήσεις, καταστάσεις), ενώ οι σχέσεις επιτρέπουν τη σύνδεσή της με άλλες οντότητες στο σύστημα, δημιουργώντας ένα συνεκτικό και επεκτάσιμο γράφο πληροφορίας.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα NGSi-LD Smart Data Model είναι το **WeatherObserved**, το οποίο χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση μετεωρολογικών και περιβαλλοντικών μετρήσεων. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει βασικές ιδιότητες όπως:

- **temperature**: Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C).
- **humidity**: Σχετική υγρασία (%).
- **windSpeed**: Ταχύτητα ανέμου (m/s).
- **precipitation**: Ποσότητα βροχόπτωσης (mm/h).

```
{
  "id": "urn:ngsi-ld:WeatherObserved:001",
  "type": "WeatherObserved",
  "temperature": {
    "type": "Property",
    "value": 22.5
  },
  "humidity": {
    "type": "Property",
    "value": 60
  },
  "windSpeed": {
    "type": "Property",
    "value": 5.5
  }
}
```

Ένα άλλο παράδειγμα είναι το **ParkingSpot**, το οποίο αφορά σημεία στάθμευσης και περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως:

- **status**: Δείχνει αν η θέση είναι διαθέσιμη ή κατειλημμένη.
- **category**: Τύπος στάθμευσης (π.χ. δημόσια, ιδιωτική, ηλεκτρικών οχημάτων).
- **location**: Γεωγραφικές συντεταγμένες της θέσης στάθμευσης.

### Παράδειγμα αναπαράστασης μιας οντότητας **ParkingSpot**:

```
{
  "id": "urn:ngsi-ld:ParkingSpot:001",
  "type": "ParkingSpot",
  "status": {
    "type": "Property",
    "value": "free"
  },
  "category": {
    "type": "Property",
    "value": "public"
  },
  "location": {
    "type": "GeoProperty",
    "value": {
      "type": "Point",
      "coordinates": [25.1342, 35.3387]
    }
  }
}
```

Η ενσωμάτωση αυτών των μοντέλων στο πλαίσιο του έργου επιτρέπει την καλύτερη διαχείριση των δεδομένων και τη διασφάλιση της συμβατότητας με διεθνή πρότυπα. Παράλληλα, σε περιπτώσεις όπου τα υπάρχοντα NGSI-LD μοντέλα δεν καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες του έργου, μπορεί να γίνει προσαρμογή ή επέκτασή τους με επιπλέον χαρακτηριστικά, ώστε να ανταποκριθούν στις ειδικές απαιτήσεις των εφαρμογών που θα αναπτυχθούν.

## 4.2 NGSI-LD smart data models στο έργο SmartCities

Η χρήση των **NGSI-LD Smart Data Models** [4] στο πλαίσιο του έργου SmartCities είναι πλήρως ευθυγραμμισμένη με την αρχιτεκτονική που περιγράφεται στο παραδοτέο Π1.2 «Αρχιτεκτονική Συστήματος και Κυβερνοασφάλεια». Η ευθυγράμμιση αυτή διασφαλίζει ότι η αναπαράσταση και διαχείριση των δεδομένων πραγματοποιείται με τυποποιημένο, διαλειτουργικό και επεκτάσιμο τρόπο, ενώ παράλληλα υποστηρίζεται η ασφαλής ενοποίηση με τις υπόλοιπες υποδομές και υπηρεσίες του έργου.

Στο SmartCities, για κάθε μία από τις βασικές κατηγορίες δεδομένων, έχει πραγματοποιηθεί αντιστοίχιση (mapping) με διαθέσιμα NGSI-LD data models. Η επιλογή τυποποιημένων μοντέλων επιτρέπει κοινή σημασιολογική αναπαράσταση, ενισχύει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ εφαρμογών και διευκολύνει την επαναχρησιμοποίηση δεδομένων σε διαφορετικά σενάρια χρήσης. Το σημασιολογικό μοντέλο του έργου βασίζεται σε πρότυπα και προδιαγραφές NGSI-LD, παρέχοντας μια ενοποιημένη προσέγγιση για την περιγραφή και διαχείριση των δεδομένων που υποστηρίζονται.

Οι **βασικοί τομείς** στους οποίους επικεντρώνεται το έργο περιλαμβάνουν:

- **Περιβαλλοντικά δεδομένα:** Μετρήσεις ποιότητας αέρα (π.χ. PM2.5, PM10, CO<sub>2</sub>), μετεωρολογικά δεδομένα (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, πίεση) και δεδομένα από αισθητήρες θορύβου.
- **Κινητικότητα πολιτών:** Στοιχεία ροής κυκλοφορίας, έξυπνες διαβάσεις πεζών, αισθητήρες στάθμευσης και δεδομένα που σχετίζονται με τη διαχείριση δημόσιων μεταφορών.
- **Διαχείριση αποβλήτων:** Δεδομένα από συστήματα συλλογής απορριμμάτων, πληρότητα κάδων, δρομολόγηση/προγραμματισμοί αποκομιδής και κατηγορίες αποβλήτων.
- **Συστήματα στάθμευσης:** Δεδομένα για διαθεσιμότητα θέσεων στάθμευσης, δυναμική τιμολόγηση και αισθητήρες ανίχνευσης οχημάτων.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με τις κύριες κατηγορίες δεδομένων και τα αντίστοιχα μοντέλα NGSI-LD που χρησιμοποιούνται:

**Πίνακας 1:** Αντιστοίχιση δεδομένων αισθητήρων με NGSI-LD μοντέλα δεδομένων

Δεδομένα από αισθητήρες	Αντίστοιχο NGSI-LD Smart Data Model
Φωτεινότητα περιβάλλοντος (Ambient Light)	<a href="#">IndoorEnvironmentObserved</a>
Ένταση θορύβου (Loudness)	<a href="#">NoiseLevelObserved</a>

Θερμοκρασία αέρα	<a href="#">WeatherObserved</a>
Υγρασία αέρα	<a href="#">WeatherObserved</a>
Ατμοσφαιρική πίεση	<a href="#">WeatherObserved</a>
Ταχύτητα ανέμου	<a href="#">WeatherObserved</a>
Κατεύθυνση ανέμου	<a href="#">WeatherObserved</a>
Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)	<a href="#">AirQualityObserved</a>
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	<a href="#">AirQualityMonitoring</a>
Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> )	<a href="#">AirQualityObserved</a>
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	<a href="#">AirQualityMonitoring</a>
Όζον (O <sub>3</sub> )	<a href="#">AirQualityMonitoring</a>

Σωματίδια (PM2.5, PM10)	<a href="#">AirQualityMonitoring</a>
Ροή CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> Flux)	<a href="#">AirQualityMonitoring</a>
Οξύτητα νερού (pH)	<a href="#">WaterObserved</a>
Θερμοκρασία νερού	<a href="#">WaterObserved</a>
Αγωγιμότητα νερού	<a href="#">WaterObserved</a>
Νιτρικά / Αμμώνιο / Ιόντα	<a href="#">WaterObserved</a>
Στάθμη νερού	<a href="#">WaterObserved</a>
Στάθμη μπαταρίας αισθητήρα	<a href="#">Device</a>
Σημείο στάθμευσης	<a href="#">ParkingSpot</a>
Παραβίαση στάθμευσης	<a href="#">ParkingSpot</a>

Στάθμευση στο δρόμο	<a href="#">OnStreetParking</a>
Στάθμευση εκτός δρόμου	<a href="#">OffStreetParking</a>
Εκτίμηση κυκλοφορίας	<a href="#">TrafficFlowObserved</a>
Εκτίμηση πλήθους	<a href="#">CrowdFlowObserved</a>
Ανώνυμη παρακολούθηση ροών	<a href="#">TrafficFlowObserved</a>
Ροή αντικειμένων	<a href="#">ItemFlowObserved</a>
Έξυπνοι κάδοι απορριμμάτων	<a href="#">WasteManagement</a>

Τα παραπάνω μοντέλα NGSI-LD εξασφαλίζουν τη διαλειτουργικότητα των δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών εφαρμογών και υποδομών, επιτρέποντας την τυποποιημένη ανταλλαγή και ανάλυση των πληροφοριών. Σε περιπτώσεις όπου τα υπάρχοντα μοντέλα δεν καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις του έργου, θα προταθούν επεκτάσεις ή προσαρμογές για την υποστήριξη των νέων αναγκών.

### 4.3 NGSI-LD context brokers

Οι **context brokers** αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία για τη διαχείριση και ανταλλαγή σημασιολογικών δεδομένων σε έξυπνες πόλεις και περιβάλλοντα ΙοΤ. Αυτά τα συστήματα

Σελίδα 18 | 32

επιτρέπουν την αποθήκευση, αναζήτηση, ενημέρωση και διαμοιρασμό δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, εξασφαλίζοντας την τυποποίηση και διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών και υποδομών. Στο πλαίσιο του έργου **SmartCities**, η χρήση ενός NGSI-LD context broker είναι ζωτικής σημασίας, καθώς υποστηρίζει το ενιαίο σημασιολογικό μοντέλο που αναπτύχθηκε, διασφαλίζοντας τη διαχείριση δεδομένων σύμφωνα με το πρότυπο NGSI-LD. Επιπλέον, καλύπτει κρίσιμες απαιτήσεις που προσδιορίστηκαν στο **παραδοτέο Π1.1 - Απαιτήσεις Πλατφόρμας και Μεθοδολογία Ανάπτυξης**, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης για διασύνδεση ετερογενών πηγών δεδομένων, δυναμική επεξεργασία πληροφορίας και υποστήριξη προηγμένων αναλύσεων σε πραγματικό χρόνο, καθώς επίσης είναι πλήρως συμβατό με την αρχιτεκτονική της μετα-πλατφόρμας που παρουσιάστηκε στο **παραδοτέο Π1.2 - Αρχιτεκτονική συστήματος και κυβερνοασφάλεια**.

Επομένως η επιλογή ενός NGSI-LD context broker επιλέχθηκε να αποτελεί τη βάση της υποδομής ανταλλαγής και διαχείρισης δεδομένων στο πλαίσιο του έργου, διασφαλίζοντας τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών και εφαρμογών IoT. Οι κυριότερες λύσεις που εξετάστηκαν περιλαμβάνουν τους Orion-LD<sup>2</sup>, Scorpio<sup>3</sup> και Stellio<sup>4</sup>, καθένας από τους οποίους φέρει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη συνολική απόδοση και την επιλογή του κατάλληλου broker ανάλογα με το εκάστοτε σενάριο εφαρμογής.

1. **Orion-LD:** Παρέχει βασικές λειτουργίες NGSI-LD, αξιοποιώντας τη MongoDB για την αποθήκευση δεδομένων. Η αρχιτεκτονική του, ωστόσο, υπολείπεται σε ανθεκτικότητα, καθώς δεν ενσωματώνει μηχανισμούς fault tolerance χωρίς την προσθήκη εξωτερικών λύσεων όπως το Mintaka. Παρά ταύτα, ο Orion-LD υπερέχει σε απλά queries (π.χ. γενικές και γεωγραφικές ερωτήσεις) λόγω του περιορισμένου overhead επεξεργασίας δεδομένων, αλλά παρουσιάζει σημαντικές καθυστερήσεις στις χρονικές ερωτήσεις λόγω του τρόπου που διαχειρίζεται τα δεδομένα.
2. **Stellio:** Εστιάζει στη σημασιολογική επεξεργασία δεδομένων, αξιοποιώντας την TimescaleDB για χρονικές ερωτήσεις και την PostGIS για γεωγραφικά queries. Η χρήση της Apache Kafka ενισχύει την ανθεκτικότητα και επιτρέπει ασύγχρονη επεξεργασία queries, γεγονός που βελτιώνει την απόδοσή του σε απαιτητικές εφαρμογές. Ωστόσο, η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής του μπορεί να εισάγει επιπλέον καθυστερήσεις, ειδικά σε περιβάλλοντα με υψηλό ρυθμό εισαγωγής δεδομένων.
3. **Scorpio:** Ένας ισχυρός context broker που ενσωματώνει προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως υποστήριξη γεωγραφικών και χρονικών queries, μέσω της PostGIS και PostgreSQL

<sup>2</sup> <https://fiware-orion.readthedocs.io/en/master/>

<sup>3</sup> <https://scorpio.readthedocs.io/en/latest/>

<sup>4</sup> <https://stellio.readthedocs.io/en/latest/>

βάσης δεδομένων. Σύμφωνα με τα ευρήματα της μελέτης, το Scorpio παρουσιάζει εξαιρετική επεκτασιμότητα και αντοχή σε υψηλούς φόρτους, ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν σύνθετη ανάλυση δεδομένων ή λειτουργία σε περιβάλλοντα με μεγάλους όγκους πληροφορίας.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα συγκεκριμένης μελέτης [2], [7], καθίσταται σαφές ότι το **Scorpio** **υπερέχει έναντι των Orion-LD και Stellio**, ιδιαίτερα σε κρίσιμες παραμέτρους που αφορούν εφαρμογές πραγματικού χρόνου και μεγάλου όγκου δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, το Scorpio παρέχει ένα πλούσιο σύνολο χαρακτηριστικών βελτιστοποιημένων για περιβάλλοντα NGSI-LD, όπως:

- **Συμβατότητα με το πρότυπο NGSI-LD:** Το Scorpio είναι πλήρως ευθυγραμμισμένο με την προδιαγραφή NGSI-LD, επιτρέποντας τη χρήση συνδεδεμένων δεδομένων και τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα.
- **Προηγμένα χρονικά χαρακτηριστικά:** Το Scorpio υποστηρίζει χρονικά ερωτήματα και ιστορικά δεδομένα, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάλυση τάσεων και προτύπων.
- **Επεκτασιμότητα:** Χτισμένο με με βάση μια κατανομημένη αρχιτεκτονική, το Scorpio χειρίζεται πιο αποτελεσματικά την ανάπτυξη υψηλής απόδοσης και μεγάλης κλίμακας.
- **Ενσωμάτωση:** Ενσωματώνεται εύκολα με υπάρχοντα μοντέλα NGSI-LD και εργαλεία τρίτων, παρέχοντας ευελιξία και προσαρμοστικότητα.
- **Σύνθετα ερωτήματα:** Προσφέρει ισχυρές δυνατότητες ερωτημάτων, συμπεριλαμβανομένης της υποστήριξης για γεωγραφικά ερωτήματα, χρονικά ερωτήματα και ερωτήματα που βασίζονται σε σχέσεις.
- **Δυνατότητα Cross-Federation:** Υποστηρίζει σενάρια μεταξύ ομοσπονδιών, επιτρέποντας την κοινή χρήση και διαχείριση δεδομένων σε διαφορετικούς τομείς ή πόλεις. Για παράδειγμα, πολλές πόλεις μπορούν να λειτουργούν τα δικά τους στιγμιότυπα Scorpio, ενώ ένας κεντρικός Scorpio Context Broker συγκεντρώνει και συντονίζει δεδομένα, διασφαλίζοντας τη διαλειτουργικότητα και τον κεντρικό έλεγχο.

Σε σύγκριση με το Stellio και το Orion, το Scorpio υπερέρχει στη συμμόρφωση με το NGSI-LD και τις χρονικές λειτουργίες, καθιστώντας το μια προτιμώμενη επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν πλούσια μοντέλα δεδομένων και ανάλυση ιστορικών δεδομένων. Επιπλέον, το Scorpio χρησιμοποιεί PostgreSQL με PostGIS για μόνιμη αποθήκευση, παρέχοντας ισχυρή υποστήριξη για χωρικά και χρονικά δεδομένα. Αυτή η αρχιτεκτονική εξασφαλίζει αποτελεσματική αναζήτηση και αξιόπιστη αποθήκευση ιστορικών πληροφοριών, ενισχύοντας περαιτέρω την καταλληλότητά της για απαιτητικές εφαρμογές.

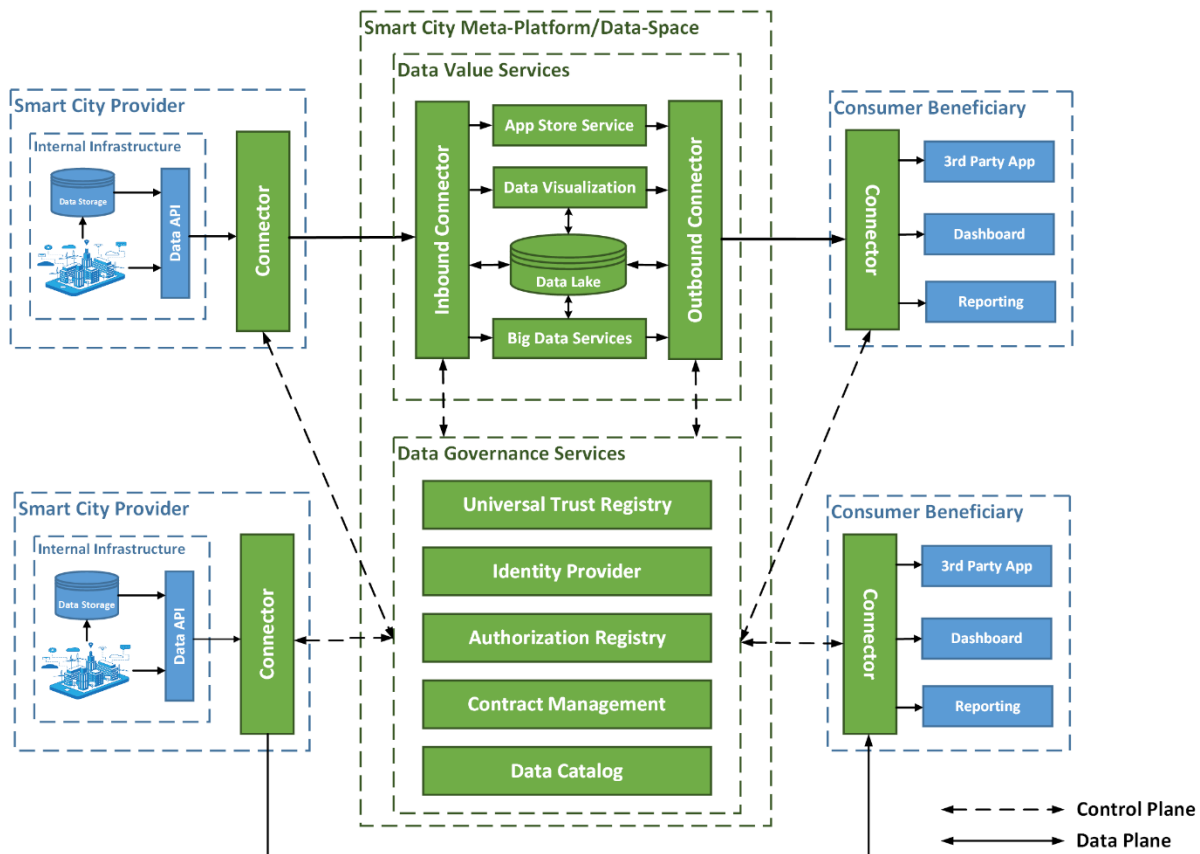
## 4.4 Συμβατότητα σημασιολογικού μοντέλου με αρχιτεκτονική μετα-πλατφόρμας

Η σχεδίαση του σημασιολογικού μοντέλου βασίζεται σε μια **κατανεμημένη αρχιτεκτονική μετα-πλατφόρμας**, η οποία ακολουθεί την προσέγγιση που παρουσιάζεται στο παραδοτέο Π1.2 «Αρχιτεκτονική Συστήματος και Κυβερνοασφάλεια» και απεικονίζεται σχηματικά στην Εικόνα 1. Η αρχιτεκτονική αυτή υποστηρίζει τη διασύνδεση πολλαπλών παρόχων δεδομένων και καταναλωτών, μέσω κατάλληλων μηχανισμών διασύνδεσης και διακυβέρνησης.

Στο πλαίσιο αυτό, οι **NGSI-LD Context Brokers** αποτελούν βασικό στοιχείο της υποδομής ανταλλαγής δεδομένων, αν και **δεν απεικονίζονται ρητά ως ξεχωριστά δομικά στοιχεία στο διάγραμμα**. Λειτουργικά, οι context brokers εντάσσονται στα στοιχεία διασύνδεσης (connectors) της αρχιτεκτονικής, αναλαμβάνοντας τη διαχείριση, αποθήκευση και διάθεση σημασιολογικών δεδομένων σύμφωνα με το πρότυπο NGSI-LD.

Το προτεινόμενο σημασιολογικό μοντέλο **δεν ορίζεται ως ένα νέο, ενιαίο σχήμα δεδομένων**, αλλά ως ένα **σύνολο από επιλεγμένα NGSI-LD Smart Data Models**, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Τα μοντέλα αυτά καλύπτουν βασικούς τομείς του έργου (π.χ. περιβάλλον, κινητικότητα, στάθμευση, απορρίμματα) και υιοθετούνται με τρόπο συνεπή και επεκτάσιμο, επιτρέποντας την ομοιόμορφη αναπαράσταση δεδομένων από διαφορετικές πόλεις και πηγές.

Η συμβατότητα του σημασιολογικού μοντέλου με την αρχιτεκτονική της μετα-πλατφόρμας διασφαλίζεται μέσω των ακόλουθων μηχανισμών:



Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική μετα-πλατφόρμας

## 1. Υιοθέτηση του προτύπου NGSI-LD

Όλα τα μοντέλα δεδομένων βασίζονται στο πρότυπο NGSI-LD, το οποίο υποστηρίζεται από τους context brokers και επιτρέπει τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών πόλεων και εφαρμογών. Οι οντότητες και τα χαρακτηριστικά (π.χ. *WeatherObserved*, *ParkingSpot*) ακολουθούν τα FIWARE Smart Data Models, εξασφαλίζοντας συμβατότητα με υφιστάμενες και μελλοντικές υπηρεσίες.

## 2. Κατανεμημένη διαχείριση δεδομένων

Κάθε πόλη μπορεί να διαθέτει τον δικό της NGSI-LD context broker, ο οποίος διαχειρίζεται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από τοπικές πηγές (αισθητήρες, δημοτικά APIs). Οι επιμέρους brokers λειτουργούν αυτόνομα, ενώ μπορούν να διασυνδεθούν με έναν κεντρικό broker μέσω μηχανισμών ομοσπονδοποίησης (federation), επιτρέποντας συγκεντρωτική ανάλυση δεδομένων σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο.

### 3. Χρήση Http Bridge για μετατροπή δεδομένων

Το Http Bridge λειτουργεί ως ενδιάμεσος μηχανισμός μεταξύ υφιστάμενων APIs και των context brokers, μετατρέποντας δεδομένα από απλά JSON formats σε NGSI-LD μορφή μέσω κατάλληλων type mappings. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ότι πόλεις με ετερογενείς τεχνολογικές υποδομές μπορούν να ενσωματωθούν ομοιόμορφα στη μεταπλατφόρμα.

### 4. Υποστήριξη προηγμένων ερωτημάτων

Οι context brokers, και ειδικότερα το Scorpio, παρέχουν δυνατότητες χωρικών και χρονικών ερωτημάτων, επιτρέποντας τη συνδυαστική ανάλυση δεδομένων από πολλαπλές πόλεις. Για παράδειγμα, μπορούν να ανακτηθούν δεδομένα ποιότητας αέρα σε συγκεκριμένη γεωγραφική ακτίνα, συγκεντρώνοντας πληροφορίες από διαφορετικούς τοπικούς brokers.

### 5. Ασφάλεια και διαχείριση πρόσβασης

Η αρχιτεκτονική υιοθετεί μηχανισμούς ελέγχου πρόσβασης (π.χ. OAuth2, JWT), επιτρέποντας στις πόλεις να διατηρούν τον έλεγχο των δεδομένων τους, ενώ παράλληλα υποστηρίζεται η ασφαλής ανταλλαγή πληροφορίας μέσω της μεταπλατφόρμας.

### 6. Επεκτασιμότητα και προσαρμογή

Το σημασιολογικό μοντέλο επιτρέπει την εισαγωγή νέων οντοτήτων ή την επέκταση υφιστάμενων μοντέλων (π.χ. δεδομένα 5G ή σεισμολογικά δεδομένα), χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στην υποκείμενη αρχιτεκτονική.

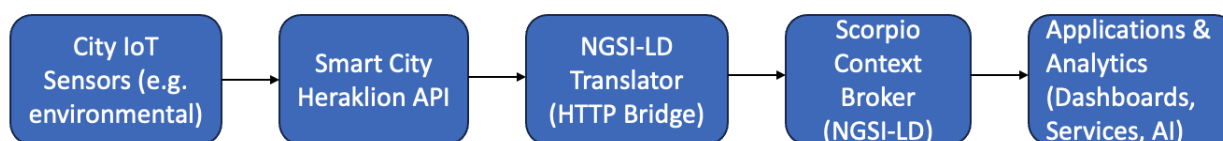
Η προσέγγιση αυτή διασφαλίζει ότι το σημασιολογικό μοντέλο ενσωματώνεται πλήρως στην αρχιτεκτονική της μεταπλατφόρμας και δεν αποτελεί μεμονωμένη λύση. Αντιθέτως, υποστηρίζει τη δημιουργία ενός διαλειτουργικού οικοσυστήματος έξυπνων πόλεων [8], στο οποίο δεδομένα και υπηρεσίες μπορούν να αξιοποιηθούν συλλογικά σε εθνικό επίπεδο.

## 5 Παραδείγματα και Εφαρμογές

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία συλλογής, μετατροπής και αξιοποίησης περιβαλλοντικών δεδομένων, με μελέτη περίπτωσης την πόλη του Ηρακλείου. Η πόλη του Ηρακλείου επιλέχθηκε ως πιλοτικό παράδειγμα, καθώς μέσω της πλατφόρμας **Smart City Heraklion**<sup>5</sup> παρέχεται πρόσβαση σε σύνολο δεδομένων πόλης μέσω κατάλληλων προγραμματιστικών διεπαφών (APIs), τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν στο πλαίσιο του έργου SmartCities.

Η διαδικασία που ακολουθείται στο παράδειγμα του Ηρακλείου μπορεί να λειτουργήσει ως **πρότυπο μεθοδολογίας** για οποιαδήποτε άλλη πόλη, η οποία δύναται να εφαρμόσει την ίδια προσέγγιση χρησιμοποιώντας τον δικό της NGSI-LD Context Broker. Σε αρχιτεκτονικό επίπεδο, η μετα-πλατφόρμα του έργου υποστηρίζει τη διασύνδεση επιμέρους context brokers πόλεων με έναν κεντρικό broker, επιτρέποντας τη συγκέντρωση και ενοποιημένη αξιοποίηση δεδομένων σε εθνικό επίπεδο, με διασφαλισμένη σημασιολογική διαλειτουργικότητα.

Για λόγους σαφήνειας, η συνολική ροή δεδομένων — από τις υφιστάμενες πηγές της πόλης έως τη σημασιολογική αποθήκευση και διάθεση μέσω NGSI-LD — απεικονίζεται σχηματικά στην **Εικόνα 2**, η οποία παρουσιάζει τα βασικά δομικά στοιχεία και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις.



Εικόνα 2: Η συνολική ροή δεδομένων μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

### Συλλογή και Διαχείριση Δεδομένων

Η πόλη του Ηρακλείου διαθέτει σύνολο αισθητήρων IoT που καταγράφουν περιβαλλοντικά δεδομένα σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες αυτοί είναι εγκατεστημένοι σε επιλεγμένες περιοχές της πόλης και συλλέγουν μετρήσεις όπως θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα αέρα και ατμοσφαιρική πίεση. Τα δεδομένα δεν προσπελούνται απευθείας από το επίπεδο του εξοπλισμού, αλλά συγκεντρώνονται και διατίθενται μέσω της πλατφόρμας **Smart**

<sup>5</sup> <https://smartcity.heraklion.gr/>

**City Heraklion API**, η οποία λειτουργεί ως ενοποιημένο σημείο πρόσβασης σε ετερογενείς πηγές δεδομένων.

Για τη μετατροπή και προσαρμογή των δεδομένων στο σημασιολογικό μοντέλο της πλατφόρμας χρησιμοποιείται ένας **NGSI-LD Translator (HTTP Bridge)**, ο οποίος στο παρόν έργο υλοποιείται ως RESTful υπηρεσία και λειτουργεί ως ενδιάμεσο λογισμικό (middleware). Ο Translator αναλαμβάνει τη μετάφραση των δεδομένων από απλό JSON format στη μορφή NGSI-LD, σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες αντιστοίχισης (type mappings), διασφαλίζοντας τη συμμόρφωσή τους με τα NGSI-LD Smart Data Models που υιοθετούνται στο έργο.

Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με την έννοια των **Context Providers / NGSI-LD Proxies**, όπως αυτή περιγράφεται στο οικοσύστημα FIWARE, όπου ενδιάμεσες συνιστώσες αναλαμβάνουν την προσαρμογή και σημασιολογική εναρμόνιση δεδομένων προερχόμενων από εξωτερικά συστήματα.

Στη συνέχεια, τα μετασχηματισμένα δεδομένα αποστέλλονται στον **Scorpio Context Broker**, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αποθήκευση, διαχείριση και διάθεσή τους σύμφωνα με το πρότυπο NGSI-LD. Μέσω του Scorpio καθίσταται δυνατή η εκτέλεση χωρικών και χρονικών ερωτημάτων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και η αξιοποίηση ιστορικών δεδομένων για ανάλυση τάσεων και υποστήριξη προηγμένων εφαρμογών.

Η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει την ομοιόμορφη ενσωμάτωση ετερογενών δεδομένων πόλης στη μετα-πλατφόρμα του έργου SmartCities, χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στις υφιστάμενες υποδομές των πόλεων. Παράλληλα, διασφαλίζει ότι το προτεινόμενο σημασιολογικό μοντέλο δεν λειτουργεί απομονωμένα, αλλά εντάσσεται σε ένα ευρύτερο οικοσύστημα διαλειτουργικών υπηρεσιών, υποστηρίζοντας την επεκτασιμότητα, τη διαλειτουργικότητα και τη μελλοντική ένταξη νέων πόλεων ή κατηγοριών δεδομένων.

### **Οι βασικές λειτουργίες του Http Bridge περιλαμβάνουν:**

- **Ανάκτηση δεδομένων από υφιστάμενες πηγές IoT:**

Ο Translator ανακτά δεδομένα από τις πηγές της πόλης μέσω HTTP requests προς τη **Smart City API**, η οποία λειτουργεί ως ενοποιημένο σημείο πρόσβασης στα δεδομένα των αισθητήρων και λοιπών συστημάτων.

- **Μετατροπή και προσαρμογή δεδομένων σε μορφή NGSI-LD:**

Με τη χρήση προκαθορισμένων κανόνων αντιστοίχισης (Type Maps), ο Translator μεταφράζει τα δεδομένα από απλό JSON format σε οντότητες NGSI-LD, σύμφωνα με τα επιλεγμένα NGSI-LD Smart Data Models του έργου.

- **Δημιουργία και ενημέρωση οντοτήτων NGSI-LD στον Context Broker:**

Ο Translator αξιοποιεί τα NGSI-LD APIs για τη δημιουργία νέων οντοτήτων ή την ενημέρωση υφιστάμενων στον **Scorpio Context Broker**, διασφαλίζοντας τη συνεπή αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων.

- **Υποστήριξη ενημερώσεων σε (σχεδόν) πραγματικό χρόνο:**

Η αρχιτεκτονική του Translator επιτρέπει τη συνεχή ή περιοδική ενημέρωση των δεδομένων, υποστηρίζοντας σενάρια παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και την έγκαιρη αποτύπωση μεταβολών των περιβαλλοντικών συνθηκών.

## 5.1 Αντιστοίχιση Δεδομένων σε NGSI-LD

Η διαδικασία αντιστοίχισης και μετατροπής των δεδομένων στο πρότυπο NGSI-LD ακολουθεί μια σαφή αλληλουχία βημάτων, η οποία εξασφαλίζει τη σημασιολογική ομοιομορφία και τη διαλειτουργικότητα των δεδομένων στο πλαίσιο του έργου SmartCities.

### Αρχικά δεδομένα από την API της πόλης του Ηρακλείου

Πριν από τη μετατροπή, τα δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες της πόλης συλλέγονται και διατίθενται μέσω της **Smart City Heraklion API** σε απλή JSON μορφή. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα δεδομένων περιβαλλοντικού αισθητήρα παρουσιάζεται παρακάτω:

```
{  
  "sensorId": "her_weather_001",  
  "temperature": 22.5,  
  "humidity": 60,  
  "latitude": 35.3387,
```

Τα δεδομένα αυτά δεν ακολουθούν κάποιο σημασιολογικό πρότυπο και δεν είναι άμεσα διαλειτουργικά με άλλες πόλεις ή συστήματα

1. **Μετατροπή των δεδομένων μέσω του Http Bridge:** Ο **Http Bridge** ανακτά τα δεδομένα από τη Smart City API και εφαρμόζει προκαθορισμένους κανόνες αντιστοίχισης (Type Maps), προκειμένου να τα μετατρέψει σε οντότητες NGSI-LD. Κατά τη διαδικασία μετατροπής:

- Ο αισθητήρας και οι μετρήσεις του αποκτούν μοναδικό αναγνωριστικό NGSI-LD (π.χ. urn:ngsi-ld:WeatherObserved:Heraklion\_001).
- Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας αποτυπώνονται ως **Property attributes**.
- Οι γεωγραφικές συντεταγμένες καταγράφονται ως **GeoProperty**.
- Ο χρονικός προσδιορισμός διατηρείται μέσω timestamp.

```
{
  "id": "urn:ngsi-ld:WeatherObserved:Heraklion_001",
  "type": "WeatherObserved",
  "temperature": {
    "type": "Property",
    "value": 22.5,
    "unitCode": "CEL"
  },
  "humidity": {
    "type": "Property",
    "value": 65,
    "unitCode": "%RH"
  },
  "location": {
    "type": "GeoProperty",
    "value": {
      "type": "Point",
      "coordinates": [25.1442, 35.3387]
    }
  }
}
```

Σελίδα 27 | 32

Το αποτέλεσμα της μετατροπής είναι μια οντότητα **WeatherObserved** σε μορφή NGSI-LD, όπως φαίνεται παρακάτω:

2. **Αποστολή των δεδομένων στον Scorpio Context Broker:** Η παραγόμενη οντότητα NGSI-LD αποστέλλεται στον **Scorpio Context Broker** μέσω των NGSI-LD APIs. Ο broker αναλαμβάνει τη μόνιμη αποθήκευση των δεδομένων, καθώς και τη διάθεσή τους για αναζήτηση, ανάλυση και επαναχρησιμοποίηση από εφαρμογές και υπηρεσίες της πλατφόρμας.

## 5.2 Querying Δεδομένων από τον Scorpio Context Broker

Τα δεδομένα που αποθηκεύονται στον Scorpio Context Broker είναι διαθέσιμα για αναζήτηση μέσω NGSI-LD APIs, επιτρέποντας την εκτέλεση σύνθετων ερωτημάτων τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και σε ιστορικό επίπεδο.

### Παράδειγμα χρονικού (temporal) query

Το παρακάτω παράδειγμα επιτρέπει την ανάκτηση ιστορικών δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας για συγκεκριμένη χρονική περίοδο:

```
/ngsi-ld/v1/temporal/entities?  
type=WeatherObserved&  
timerel=between&  
time=2025-01-01T00:00:00Z&  
endTime=2025-01-01T12:00:00Z&
```

### Ανάλυση παραμέτρων:

- **type=WeatherObserved:** Ορίζει τον τύπο οντότητας.
- **timerel=between:** Επιλέγει δεδομένα εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.
- **time / endTime:** Καθορίζουν τη χρονική περίοδο ενδιαφέροντος.

- **attrs=temperature,humidity:** Περιορίζει τα επιστρεφόμενα δεδομένα στα συγκεκριμένα attributes

### Παράδειγμα ανάκτησης τελευταίας τιμής (latest value)

Για την ανάκτηση της πιο πρόσφατης τιμής ενός attribute, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ακόλουθο query:

```
/ngsi-l3/v1/entities?  
type=WeatherObserved&  
attrs=temperature&
```

Το query αυτό επιστρέφει την τελευταία διαθέσιμη καταγραφή της θερμοκρασίας για τις οντότητες τύπου *WeatherObserved*.

Η δυνατότητα εκτέλεσης τόσο χρονικών όσο και απλών queries επιτρέπει την αποτελεσματική αξιοποίηση των δεδομένων από εφαρμογές παρακολούθησης, dashboards και εργαλεία ανάλυσης, καθιστώντας τον Scorpio Context Broker βασικό στοιχείο της λειτουργίας της μετα-πλατφόρμας SmartCities.

## 6 Σύνοψη

Το παρόν παραδοτέο επικεντρώθηκε στον σχεδιασμό, την τεκμηρίωση και την πιλοτική εφαρμογή ενός σημασιολογικού μοντέλου μεταδεδομένων για το έργο **SmartCities**, με βασικό στόχο τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας, της επεκτασιμότητας και της αποδοτικής αξιοποίησης δεδομένων έξυπνων πόλεων. Η ανάγκη για ενοποιημένη και σημασιολογικά συνεπή διαχείριση δεδομένων προκύπτει από τον κατακερματισμό των υφιστάμενων υποδομών και τη συνύπαρξη ετερογενών πηγών πληροφορίας, γεγονός που καθιστά επιτακτική τη χρήση κοινών προτύπων και αρχιτεκτονικών αναφοράς.

Η προτεινόμενη προσέγγιση βασίστηκε στο πρότυπο **NGSI-LD**, το οποίο αποτελεί το πλέον σύγχρονο και επικρατές πρότυπο για τη διαχείριση σημασιολογικών δεδομένων σε περιβάλλοντα IoT και έξυπνων πόλεων. Μέσω της υιοθέτησης των **FIWARE Smart Data Models**, το σημασιολογικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου επιτρέπει την τυποποιημένη αναπαράσταση οντοτήτων του πραγματικού κόσμου, όπως περιβαλλοντικοί αισθητήρες, σημεία στάθμευσης, ροές κυκλοφορίας και υποδομές διαχείρισης αποβλήτων. Η επιλογή αυτή διασφαλίζει όχι μόνο τη συμβατότητα με υφιστάμενες τεχνολογίες, αλλά και τη μελλοντική επεκτασιμότητα του συστήματος.

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του παραδοτέου, πραγματοποιήθηκε συστηματική ανάλυση απαιτήσεων σε συνεργασία με τους εταίρους του έργου και τις συμμετέχουσες πόλεις. Η ανάλυση αυτή οδήγησε στη δημιουργία ενός αναλυτικού καταλόγου αντιστοιχίσεων μεταξύ κατηγοριών δεδομένων και διαθέσιμων NGSI-LD Smart Data Models. Οι αντιστοιχίσεις αυτές καλύπτουν βασικούς τομείς εφαρμογής, όπως περιβαλλοντικά δεδομένα (ποιότητα αέρα, μετεωρολογικές μετρήσεις, δεδομένα νερού), κινητικότητα πολιτών, κυκλοφορία, στάθμευση και διαχείριση αποβλήτων. Για περιπτώσεις όπου δεν υπήρχε άμεση αντιστοιχία με υφιστάμενα πρότυπα, εξετάστηκαν τεκμηριωμένες προσεγγίσεις επέκτασης ή πρότασης νέων μοντέλων, με γνώμονα τη διατήρηση της συμβατότητας με το NGSI-LD.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην εναρμόνιση του σημασιολογικού μοντέλου με την καταναμημένη αρχιτεκτονική μετα-πλατφόρμας που παρουσιάζεται στο παραδοτέο **Π1.2 – Αρχιτεκτονική Συστήματος και Κυβερνοασφάλεια**. Το σημασιολογικό μοντέλο δεν αντιμετωπίζεται ως μια απομονωμένη τεχνική λύση, αλλά ως θεμελιώδες δομικό στοιχείο μιας ευρύτερης αρχιτεκτονικής, η οποία περιλαμβάνει τοπικούς NGSI-LD Context Brokers ανά πόλη και έναν κεντρικό Context Broker για τη συγκέντρωση και ομοσπονδοποίηση δεδομένων. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει στις πόλεις να διατηρούν τον έλεγχο των δεδομένων τους, ενώ

παράλληλα διευκολύνει τη διαλειτουργικότητα και τη συλλογική αξιοποίηση πληροφορίας σε περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο.

Η επιλογή του **Scorpio Context Broker** αποτέλεσε κρίσιμο στοιχείο της υλοποίησης. Ο Scorpio παρέχει πλήρη υποστήριξη του προτύπου NGSI-LD, καθώς και προηγμένες δυνατότητες χωρικών και χρονικών ερωτημάτων, μόνιμη αποθήκευση δεδομένων και διαχείριση ιστορικών πληροφοριών. Οι δυνατότητες αυτές τον καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές έξυπνων πόλεων που απαιτούν ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, μελέτη τάσεων και υποστήριξη σύνθετων σεναρίων λήψης αποφάσεων. Παράλληλα, η υποστήριξη σεναρίων ομοσπονδοποίησης (federation) ενισχύει τον ρόλο του Scorpio ως κεντρικού κόμβου διαλειτουργικότητας.

Ως πιλοτική εφαρμογή, αξιοποιήθηκε η πόλη του Ηρακλείου, η οποία διαθέτει ώριμες ψηφιακές υποδομές και παρέχει ανοικτά δεδομένα μέσω της πλατφόρμας **Smart City Heraklion API**. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν και μετασχηματίστηκαν σε μορφή NGSI-LD μέσω ενός **NGSI-LD Translator (HTTP Bridge)**, ο οποίος λειτουργεί ως ενδιάμεσο επίπεδο προσαρμογής μεταξύ των υφιστάμενων APIs της πόλης και του Scorpio Context Broker. Η διαδικασία αυτή κατέδειξε στην πράξη πώς ετερογενή δεδομένα μπορούν να ενταχθούν σε μια ενιαία σημασιολογική υποδομή, χωρίς να απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στις υπάρχουσες δημοτικές πλατφόρμες.

Η επιτυχής εφαρμογή του σημασιολογικού μοντέλου στο Ηράκλειο ανέδειξε τα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης προσέγγισης, τόσο σε επίπεδο τεχνικής υλοποίησης όσο και σε επίπεδο αξιοποίησης των δεδομένων. Η δυνατότητα εκτέλεσης χωρικών και χρονικών ερωτημάτων, η πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα και η σημασιολογικά συνεπής αναπαράσταση της πληροφορίας δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη προηγμένων εφαρμογών και υπηρεσιών, όπως η παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών, η βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας και η αποδοτικότερη διαχείριση αστικών πόρων.

Συνολικά, το παραδοτέο καταδεικνύει ότι η υιοθέτηση ενός κοινού σημασιολογικού μοντέλου, βασισμένου σε διεθνή πρότυπα όπως το NGSI-LD, αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία διαλειτουργικών οικοσυστημάτων έξυπνων πόλεων. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική και το σημασιολογικό μοντέλο μπορούν να επεκταθούν και να υιοθετηθούν από περισσότερες πόλεις, συμβάλλοντας στη δημιουργία ενός ενιαίου πλαισίου διαχείρισης δεδομένων σε εθνικό επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό, το έργο SmartCities θέτει τα θεμέλια για βιώσιμες, επεκτάσιμες και καινοτόμες ψηφιακές υπηρεσίες, ενισχύοντας τη λήψη αποφάσεων βασισμένων σε δεδομένα και τη συνολική ποιότητα ζωής στις σύγχρονες πόλεις.

## 7 Αναφορές

- [1] B. Otto, M. ten Hompel, and S. Wrobel, “International Data Spaces,” in Digital Transformation, 2019.
- [2] Efstratios Ntallaris, Georgios Bouloukakis, Kostas Magoutis. Benchmarking context-aware services for smart-transportation IoT data exchange. 14th International Conference on the Internet of Things (IoT), Nov 2024, Oulu, Finland.
- [3] ETSI GS CIM 009, Context Information Management (CIM); NGSI-LD API. European Telecommunications Standards Institute, v1.6.1, 2023.  
[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/CIM/001\\_099/009/01.06.01\\_60/gs\\_CIM009v010601p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/CIM/001_099/009/01.06.01_60/gs_CIM009v010601p.pdf)
- [4] FIWARE Foundation, “Smart Data Models Initiative.”, <https://smartdatamodels.org>
- [5] European Commission, “Common European Data Spaces, 2022. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-spaces>
- [6] GAIA-X AISBL, “GAIA-X Architecture Document,” Release 23.10, 2023. <https://docs.gaia-x.eu/technical-committee/architecture-document/>
- [7] Georgios Bouloukakis et al., “A Survey on Context Brokers for NGSI-LD-based Systems,” IEEE Internet of Things Journal, 2023.
- [8] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, “Internet of Things for Smart Cities,” IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no. 1, 2014.