



Dagli strumenti di piano ai modelli: esempio di scenarizzazione delle ipotesi contenute nello Schema di Coerenza Territoriale della regione urbana di Grenoble (Francia), per un modello di uso del suolo e dei trasporti

Fausto Lo Feudo

► To cite this version:

Fausto Lo Feudo. Dagli strumenti di piano ai modelli: esempio di scenarizzazione delle ipotesi contenute nello Schema di Coerenza Territoriale della regione urbana di Grenoble (Francia), per un modello di uso del suolo e dei trasporti. 2017 - XXXVIII Conferenza scientifica annuale AISRe, Sep 2017, Cagliari, Italy. pp.1-26. hal-01666464

HAL Id: hal-01666464

<https://inria.hal.science/hal-01666464>

Submitted on 18 Dec 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DAGLI STRUMENTI DI PIANO AI MODELLI: ESEMPIO DI SCENARIZZAZIONE DELLE IPOTESI CONTENUTE NELLO SCHEMA DI COERENZA TERRITORIALE DELLA REGIONE URBANA DI GRENoble (FRANCIA), PER UN MODELLO DI USO DEL SUOLO E DEI TRASPORTI

Fausto Lo Feudo¹

SOMMARIO

In questo articolo si illustra la metodologia adottata per l'implementazione degli scenari di simulazione di un modello di tipo integrato trasporti-uso del suolo, riferito al territorio della Regione Urbana di Grenoble, nel Dipartimento dell'Isere in Francia. Le ipotesi alla base di tali scenari di simulazione sono state ricavate a partire dalle ipotesi di evoluzione dell'offerta residenziale e di trasporto, all'orizzonte 2030, contenute nello *Schema di Coerenza Territoriale (SCOT)* della Regione Urbana di Grenoble. Lo *SCOT* è uno strumento di pianificazione urbana strategica per il medio e lungo periodo, che definisce per un gruppo di comuni un progetto integrato e coerente di territorio, in materia di sviluppo economico, pianificazione spaziale e ambientale, offerta abitativa, di mobilità e servizi, di uso del suolo. Gli scenari di simulazione servono ad alimentare il modello *Tranus_Grenoble* implementato in collaborazione con l'Agenzia per l'Urbanistica della Regione Urbana di Grenoble (*AURG*), con l'obiettivo di fornire uno strumento operativo che sia di supporto all'attività di analisi e di pianificazione territoriale ed in particolare con la funzione di simulare l'impatto delle politiche previste nello *SCOT* sul territorio e verificarne l'efficacia. L'articolo espone la metodologia alla base del lavoro di scenarizzazione e di adattamento delle ipotesi contenute nel Piano alla struttura del modello ed il processo di trattamento e messa in coerenza di diverse basi di dati, studi di prospettiva, parametri di tipo socio-economico e econometrico. Nell'articolo viene illustrata la struttura di base del modello *Tranus_Grenoble*, le caratteristiche e gli obiettivi dello *SCOT* per la Regione Urbana di Grenoble, la struttura dello scenario base del modello e la metodologia di implementazione degli scenari di simulazione.

¹ Université Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP, LJK, 38000 Grenoble (France), fausto.lofeudo@inria.fr

1. INTRODUZIONE

Il lavoro di implementazione del modello di simulazione per la Regione Urbana di Grenoble si iscrive nell'ambito del progetto di ricerca *Cities*², con lo scopo di promuovere l'utilizzo dei modelli di simulazione integrata di uso del suolo e dei trasporti e di fornire all'*Agence d'Urbanisme de la Région Grenobleise*³ (Agenzia per l'Urbanistica della Regione Urbana di Grenoble - AURG) uno strumento operativo di supporto al processo decisionale, di pianificazione e progettazione urbana e dei trasporti; simulando gli effetti multipli di interazione e di retroazione, che si verificano tra il sistema della mobilità e l'uso del suolo e indagando sulle conseguenze e sull'impatto delle politiche di pianificazione future previste nell'area di studio. Tale lavoro si fonda dunque su una stretta collaborazione tra l'*équipe* di ricerca STEEP dell'INRIA⁴ ed gli specialisti di pianificazione urbana e dei trasporti dell'AURG; con i primi impegnati nella concezione, implementazione ed esecuzione del modello di simulazione e gli altri con una funzione di supporto operativo, attraverso la messa a disposizione delle proprie basi di dati e della propria professionalità ed esperienza nell'ambito della pianificazione urbana e dei trasporti.

Gli obiettivi di tale progetto sono dunque molteplici: da un punto di vista scientifico l'intento è di implementare il modello effettuando contemporaneamente un lavoro di specificazione e formalizzazione dell'intero processo di modellizzazione, nonché del processo di calibrazione (*"quale trattamento e perché?"*). L'interesse è inoltre di conoscere e definire il dominio di validità del modello, prevedendo dei test di validazione sui risultati della modellizzazione; nonché di testare le reali potenzialità operative del software di simulazione integrata *Tranus* e dei modelli di uso del suolo e dei trasporti in generale, e dunque la loro capacità di rispondere alle domande ed alle effettive esigenze degli attori istituzionali e specialisti della pianificazione urbana e dei trasporti.

Dal punto di vista strategico si intende utilizzare uno strumento complesso come la modellizzazione integrata dell'uso del suolo e dei trasporti, per monitorare e stimare l'impatto delle politiche di pianificazione messe in atto nell'area di studio e contemporaneamente permettere la comprensione e l'appropriazione di tale tecnica di modellizzazione da parte dei tecnici dell'AURG.

In particolare a seguito di una serie di incontri e workshop tematici tenutisi tra i tecnici dell'AURG e i ricercatori dell'INRIA, si è deciso di utilizzare tale modello per simulare e testare nello specifico l'impatto delle politiche di sviluppo urbanistico e dei trasporti, contenute nello *Schéma de Cohérence Territoriale*⁵ (Schema di Coerenza Territoriale - SCOT), che rappresenta, come dettagliato in seguito, il principale documento di pianificazione dell'area di studio.

Nel presente articolo verranno illustrati dapprima la struttura e i principi alla base del modello *Tranus* per il perimetro dello SCOT della Regione Urbana di Grenoble (SCOTRUG) e in seguito saranno illustrate le caratteristiche, i principi e gli obiettivi del documento di pianificazione SCOT, dal quale saranno identificate le ipotesi generali per la concezione e definizione di tre diversi scenari futuri di simulazione. L'articolo

² *Cities* (Calibrage et validation de modèles Transport – usage des Sols – Calibrazione e validazione dei modelli di uso del suolo e dei trasporti) è un progetto multidisciplinare di ricerca di base, promosso e finanziato dall'ANR (L'Agence nationale de la recherche – Agenzia Nazionale della Ricerca). Hanno preso parte nel progetto diversi laboratori di ricerca (INRIA, UTBM a IFSTTAR, LET, il LVMT, agenzie di pianificazione urbana come l'AURG e IAU-IDF, l'IDDRI e partner Ingegneria Industriale come Pirandello (VINCI)). Il progetto è stato coordinato da Emmanuel Prados, ricercatore presso INRIA Rhone-Alpes (www.agence-nationale-recherche.fr/?Projet=ANR-12-MONU-0020) RIPIDA la squadra INRIA. Il progetto è iniziato nel gennaio 2013 e durerà 48 mesi

³ Un *Agence d'Urbanisme* (Agenzia dell'Urbanistica) (definita dall'articolo L132-6 del Code de l'urbanisme francese) è un ente associativo con competenze trasversali e riguardanti la pianificazione urbana, la mobilità, l'economia, l'ambiente, l'uso del suolo e in generale di ingegneria territoriale. Sono fondate dai comuni, da agglomerazioni di comuni, collettività territoriali (Dipartimenti e Regioni) e sono presiedute da rappresentanti istituzionali. Forniscono un apporto tecnico e ingegneristico di osservazione, analisi e progetto di territorio.

⁴ *Institut national de recherche en informatique et en automatique* (Istituto nazionale di ricerca in informatica e automazione).

⁵ *Schéma de Cohérence Territoriale*: documento di pianificazione urbana che determina, sulla scala di diversi comuni o gruppi di comuni francesi, un progetto territoriale che favorisca la coerenza tra le politiche locali in materia di alloggi, mobilità, organizzazione commerciale, ambiente e paesaggio.

inoltre espone le procedure e le metodologie adottate nelle varie fasi del processo di scenarizzazione, per trasferire le ipotesi di sviluppo urbano futuro dello *SCOTRUG* al modello *Tranus_Grenoble* e per l'implementazione degli scenari di simulazione nel software *Tranus*.

2. IL MODELLO *TRANUS_GRENOBLE*: STRUTTURA GENERALE DELLO SCENARIO BASE

2.1 Il software di simulazione *Tranus*

Tranus è un modello di economia spaziale aggregato di tipo input/output, che appartiene alla categoria dei modelli integrati di uso del suolo e dei trasporti di tipo *quasi-dinamico* (DETR, 1999). Si basa sull'equilibrio globale tra domanda e offerta (di trasporto, di suolo, di superficie residenziale), in funzione del prezzo e del tempo e su un modello *nested logit* multinomiale (de la Barra, 1989). È un software *open source*, che si distingue per le sue potenzialità di rappresentazione multi-scalare (regionale, suburbana e urbana) e per la sua struttura integrata, che non implica l'utilizzo di modelli di trasporto esterni, come nel caso di molti altri modelli LUTI⁶.

L'algoritmo del software *Tranus* include diversi approcci teorici in un'unica struttura integrata: la teoria della base economica di Lowry (1964), per la quale un sistema territoriale si sviluppa intorno ad un centro economico attrattivo; il modello di input/output (Leontief, 1941) per definire le relazioni tra produzione e consumo; la teoria microeconomica dell'utilità casuale di McFadden (1973) per definire i comportamenti degli utenti (scelta del percorso, scelta modale, scelta di localizzazione, etc.), a seconda dell'utilità attribuita a tutte le opzioni disponibili. L'algoritmo comprende un sotto-modello di trasporto (che simula la generazione e distribuzione della domanda di trasporto, la ripartizione modale e i livelli di congestione), un sotto-modello delle attività (che simula le dinamiche di localizzazione e le interazioni economiche tra attività, addetti e popolazione), e un'unità di interfaccia che permette la trasformazione delle interazioni economiche tra le attività in flussi di trasporto. Per ogni zona del modello e per ogni settore sono definiti dei valori di produzione e di domanda, indotta e esogena. I settori esogeni (di base) consumano solo gli *input* provenienti dall'esterno dell'area di studio, mentre i settori indotti sono sia consumatori che produttori e rappresentano i settori indotte dalla produzione dei settori di base.

Il sotto-modello delle attività e uso del suolo è un modello economico spaziale discreto e consiste nel calcolo della domanda totale, attraverso una matrice di input/output, che è poi distribuita nello spazio secondo il principio di massimizzazione dell'utilità (tenendo conto dei costi di localizzazione e di trasporto).

Tranus permette di definire delle funzioni di domanda elastiche e inelastiche e di associarvi un modello di sostituzione di tipo *nested logit*. Tali funzioni descrivono il variare della quantità di *input* che un'unità di produzione di un settore generico *n* esige da un altro generico settore *m* (domanda), in funzione della variazione del prezzo (costo) unitario di produzione dell'*input* stesso. Tipicamente in *Tranus* i settori la cui domanda può essere soddisfatta anche al di fuori della zona di produzione, sono definiti *trasportabili* e sono regolati da funzioni di domanda *inelastiche*; i settori la cui domanda viene soddisfatta esclusivamente nel luogo di produzione (ad esempio i suoli e gli immobili), sono definiti *non trasportabili* e vengono regolati da funzioni di domanda di tipo *elastico* (la domanda varia in funzione della variazione del prezzo). Inoltre nel caso dei settori *non trasportabili*, come i settori immobiliari e di uso del suolo, il modello di sostituzione permette ad esempio di distribuire la domanda di una particolare categoria di popolazione, su diverse tipologie residenziali (casa indipendente, appartamento, etc.) (Johnston, et al., 2000).

Il modello può quindi riprodurre il meccanismo di concorrenza proprio del mercato immobiliare, dove, per esempio, se la domanda residenziale per una determinata area aumenta, senza superficie disponibile per nuova urbanizzazione, i prezzi di abitazioni e terreni tendono ad aumentare.

Tranus rappresenta in dettaglio anche il sistema di trasporto, tenendo conto dei vincoli di capacità, della congestione e della multimodalità. La domanda di trasporto è distribuita sulla rete di trasporto in funzione

⁶ Land Use and Transport Integrated Models (Batty, 2016 ; DETR, 1999; Wegener, 2010; Wilson, 1997; Nguyen-Luong, 2012).

delle disutilità di trasporto (monetarie: costo dello spostamento, pedaggio, costi energetici, costi di trasferimento tra operatori di trasporto, ecc; e non monetarie: valore del tempo e del tempo di attesa, etc;), e il tempo di viaggio è calcolato attraverso un processo di *restrizione delle capacità* (de la Barra, 1989) (dove se la domanda supera la capacità assegnata, allora ci sarà un aumento della congestione e quindi del tempo di viaggio).

Il processo di *decision chain* definito dall'algoritmo del software *Tranus* inizia calcolando il costo dei vari percorsi, procedendo ad un'aggregazione per modo di trasporto e in seguito per motivo di spostamento e coppia Origine e Destinazione e generando il costo composito generalizzato di trasporto (de la Barra, 1989), in funzione del quale viene generata la domanda potenziale di trasporto. La scelta modale è definita come una funzione dei costi composti per modo di trasporto e le probabilità di affettazione della domanda sono calcolate in funzione del costo di trasporto (de la Barra, 1989). Infine il processo di restrizione delle capacità consente di confrontare domanda con l'offerta, regolando se necessario tempo di viaggio e di attesa, che saranno poi considerati nella successiva iterazione.

Il meccanismo di distribuzione spaziale della popolazione e degli addetti, segue il principio di minimizzazione del costo generalizzato e di massimizzazione della funzione di utilità. La funzione di utilità comprende quindi sia il costo generalizzato di trasporto che i costi di localizzazione. Tale impostazione fornisce la capacità di riprodurre alcune dinamiche urbane tipiche, come per esempio il fatto che vivere in aree ad alta densità occupazionale comporta una riduzione dei costi di trasporto (relativi ai viaggi casa-lavoro), mentre vivere in una zona a bassa densità implica una riduzione dei costi di localizzazione e un aumento dei costi di trasporto.

Il modello di interfaccia è rappresentato da una matrice input/output, con la funzione di gestire l'interazione tra i due sotto-modelli (di trasporto e di uso del suolo): trasforma le interazioni economiche tra attività in flussi di trasporto e calcola i costi e le disutilità di trasporto che influenzeranno le interazioni delle attività nei successivi periodi simulazione, riproducendo il tipico fenomeno di retroazione tra trasporti e uso del suolo (Wegener, 2010).

2.2 Il modello *Tranus_Grenoble*: struttura generale

Per quanto riguarda la definizione della struttura generale del modello di simulazione *Tranus_Grenoble*, sulla base degli obiettivi scientifici e strategici elencati in precedenza, si è deciso di considerare un'impostazione il più possibile familiare, comprensibile e adattabile al lavoro dei tecnici dell'*AURG*. Per questo motivo si è stabilito in primo luogo di riprodurre nel software *Tranus*, per quanto possibile, la stessa struttura del modello di trasporto *PTV_Visum*, già utilizzato dall'*AURG* negli anni precedenti (categorie di domanda di trasporto, caratteristiche dell'offerta di trasporto collettivo e delle infrastrutture di trasporto, motivi di spostamento, modi di trasporto considerati, caratteristiche funzionali della rete di trasporto, ecc.), a cui in seguito aggiungere la parte inerente alla modellizzazione delle dinamiche di uso del suolo (non presente nel software *PTV_Visum*). Ovviamente tale impostazione ha comportato il bisogno di definire una serie di procedure di trattamento, modifica e conversione dei dati tra i due software di simulazione; inoltre alcuni parametri specifici, la cui estimazione è richiesta dal software *Tranus* per definire i comportamenti di mobilità delle categorie di domanda di trasporto ed alcune caratteristiche specifiche della rete di trasporto, sono stati stimati senza riferirsi al modello *PTV_Visum*, in quanto non presenti nel software *Visum* o considerati in maniera non compatibile e non trasferibile tra i due software.

2.3 Lo Scenario base

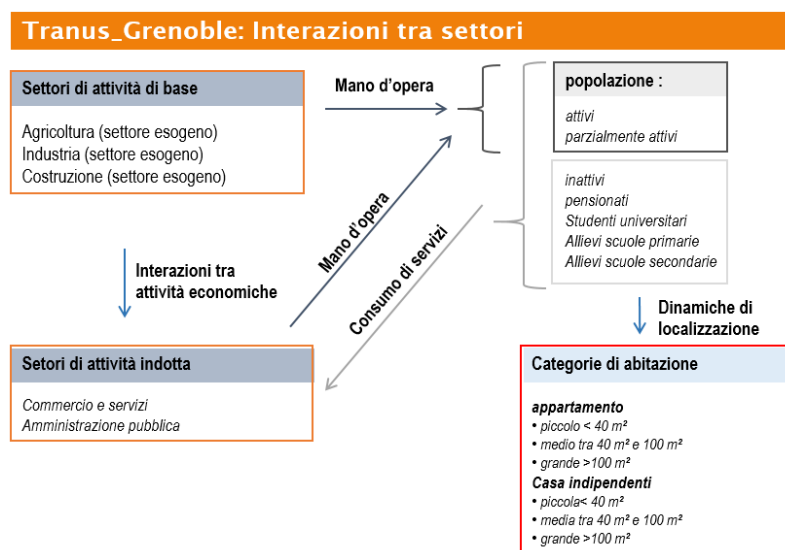
Lo Scenario base del modello *Tranus_Grenoble* si riferisce all'anno 2010 e considera il territorio a cui fa riferimento il documento di pianificazione dello *SCOT* della Regione Urbana di Grenoble. Ciascuna zona del modello *Tranus_Grenoble* corrisponde alla taglia di un *IRIS*⁷ e comprende un'aggregazione di centroidi di zona riferiti al modello di trasporto *PTV_Visum* dell'*AURG*.

⁷ Istituto francese di statistica e degli studi economici (INSEE) suddivide il territorio in maglie di taglia omogenea chiamate IRIS ("Ilots Regroupés pour l'Information Statistique": Isolati raggruppati dall'informazione statistica). In

In totale il modello comprende 127 zone interne e 14 zone esterne. Per caratterizzare le dinamiche relative ai flussi di trasporto tra l'area di studio e i territori adiacenti ad essa, sono state infatti importate nel modello delle matrici OD, che definiscono il numero di spostamenti entranti, uscenti e di attraversamento nell'area di studio⁸, con almeno l'origine o la destinazione provenienti dall'esterno. Una matrice OD esogena è stata ugualmente introdotta per tenere conto del traffico di veicoli pesanti nell'area di studio.

Il modello *Tranus_Grenoble* considera sette categorie di individui, nove settori di attività economica (di cui tre settori di base e quattro settori indotti) e due tipologie abitative, ulteriormente divise rispettivamente in tre categorie, in funzione della superficie abitabile disponibile. All'interno del modello vengono definite una serie di *funzioni di domanda* e di *coefficienti intersettoriali* che permettono di stimare la quantità di *input* che un'unità di produzione di un settore generico *n* esige da un altro generico settore *m*. Tali funzioni di domanda permettono di simulare le interazioni tra i vari settori del modello e sono l'equivalente dei coefficienti tecnici presenti in un modello input/output (Leontief, 1941).

Figura 1: Schema raffigurante l'insieme di interazioni tra i vari settori definiti nel modello *Tranus_Grenoble*.



In sostanza come illustrato in Figura 1, i settori di attività di base (Agricoltura, Industria e Costruzioni) utilizzano della mano d'opera (Attivi e Parzialmente attivi) e generano delle interazioni economiche con altri settori di attività di tipo indotto (Commercio e Servizi e amministrazione pubblica). I settori di attività di tipo indotto utilizzano anch'essi della mano d'opera (Attivi e Parzialmente attivi) e a loro volta vengono *consumati* sotto forma di servizi da tutte le categorie di popolazione del modello. Le categorie di popolazione inoltre possono *consumare* della superficie residenziale, caratterizzata per tipologia di abitazione (Appartamento o Casa indipendente) e dimensione (piccola, media, grande).

Ciascuna delle categorie di popolazione definite nel modello è stata inoltre associata a delle categorie di domanda di trasporto (motivi di spostamento derivanti dalla struttura del modello di trasporto *PTV_Visum* dell'*AURG*). Gli spostamenti per il motivo *visita*, gli spostamenti riferiti ai mezzi pesanti e gli spostamenti riferiti ai veicoli privati e al trasporto collettivo, aventi origine o destinazione al di fuori dell'area di studio, sono stati considerati attraverso delle matrici OD di tipo esogeno.

generale una zona IRIS fa riferimento a una maglia elementare comprendente 2000 abitanti. Per i comuni di meno di 10.000 abitanti e per la maggior parte dei comuni tra i 5.000 e i 10.000 abitanti l'IRIS corrisponde all'intera superficie comunale.

⁸ Tali matrici provengono dal modello di trasporto *PTV_Visum* dell'*AURG* e sono state adattate alla zonizzazione del modello *Tranus_Grenoble* prima di essere importate nel modello.

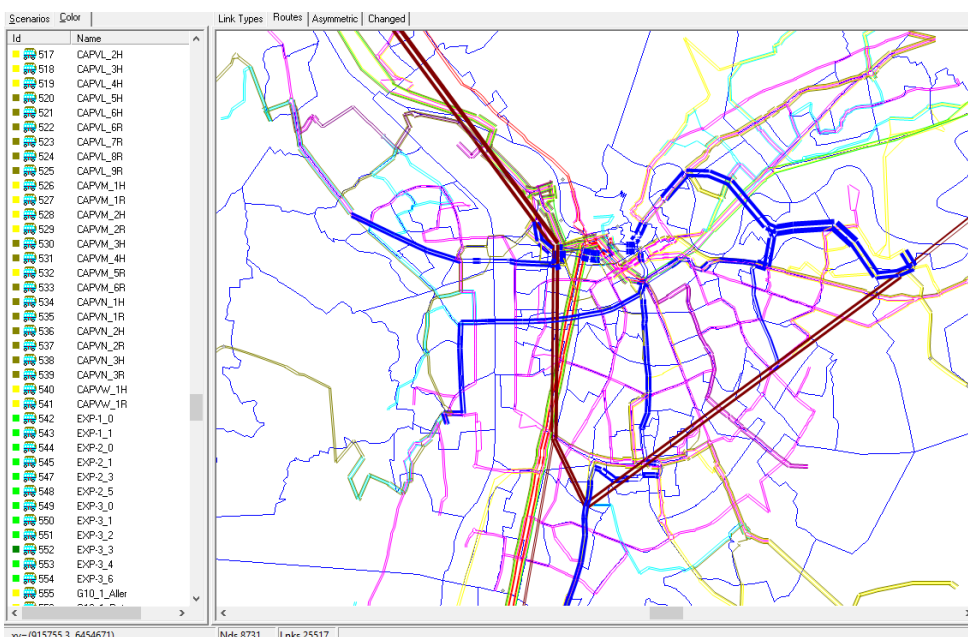
Tabella 1: Categorie di domanda di trasporto corrispondenti ai motivi di spostamento considerati nel modello *Tranus_Grenoble*.

Categorie di domanda di trasporto
Acquisti
Salute
Tempo Libero
Lavoro
Università
Scuola Primaria
Scuola Secondaria
Visite (matrice OD esogena)
Trasporto merci – mezzi pesanti (matrice OD esogena)
Trasporto privato – zone esterne (matrice OD esogena)
Trasporto collettivo – zone esterne (matrice OD esogena)

Le interazioni tra i vari settori definiti nel modello sono convertite dal software *Tranus* in flussi di trasporto, i quali vengono associati a ciascuna differente categoria di domanda (motivi di spostamento) e in seguito assegnati alla rete di trasporto.

Nel modello *Tranus_Grenoble* è stata importata un rete di trasporto che rappresenta una versione semplificata e ottimizzata nel numero di archi e nodi, della rete adottata nel modello di trasporto *PTV_Visum* dell'*AURG*⁹, pur mantenendone invariata la struttura. In particolare il modello si riferisce all'ora di punta del mattino (7:00 - 8:00) di un generico giorno infrasettimanale. Sono considerati 12 diversi modi (operatori) di trasporto e 40 diverse tipologie di archi. E' stata inoltre importata nel modello l'insieme dell'offerta di trasporto collettivo presente nell'area di studio al 2010, comprendente 652 linee (percorsi, fermate, frequenze, capacità etc.).

Figura 2: Esempio di rappresentazione dell'offerta di trasporto collettivo nell'interfaccia grafica del modello *Tranus_Grenoble* (particolare del comune di Grenoble). Ogni colore corrisponde ad un operatore di trasporto collettivo (es. in blu la rete tranviaria).



⁹ La semplificazione della rete del modello di trasporto *PTV_Visum* dell'*AURG* è stata compiuta attraverso la funzione *multi-delete* di Visum, che permette di specificare dei criteri di semplificazione (in questo caso sono stati esclusi tutti i nodi legati a meno di tre archi, eccetto i nodi che rappresentavano delle fermate del trasporto collettivo). Tale operazione ha permesso di ridurre di circa il 40% il numero di nodi e archi da trasferire nel modello *Tranus_Grenoble*.

2.4 Dati di ingresso

I modelli di uso del suolo e dei trasporti hanno generalmente bisogno di una grande quantità di dati di ingresso e il lavoro di reperimento e di adattamento di tali dati alla struttura del modello, può risultare tra le attività più complesse e dispendiose del lavoro di modellizzazione.

Dovendo avere a che fare con dati provenienti da diverse basi di dati e da diverse fonti, risulta infatti spesso necessario un laborioso lavoro di omogeneizzazione di tali dati in ingresso, che spesso si trovano classificati in base a criteri di zonizzazione non coerenti per la stessa area di studio, e secondo parametri non compatibili con la notazione usata in *Tranus*. In Figura 3 sono elencati sinteticamente i diversi tipi di dati di ingresso utilizzati per alimentare il modello *Tranus_Grenoble* in funzione dei vari settori (settori di attività, popolazione, categorie di domanda di trasporto, tipologie immobiliari). La maggior parte della basi di dati utilizzate per reperire i dati da inserire nel modello sono state fornite dall'*AURG* e non sono di libero accesso: i dati sulla popolazione provengono dall'*INSEE* e si riferiscono al Censimento 2009-2010; i dati sull'occupazione (numero occupati, per zona e per settore di attività) sono stati stimati attraverso una fusione tra la base di dati *Sirene*¹⁰ e la base di dati *Clap*¹¹ fornita dall'*INSEE*; i dati sulla superficie residenziale disponibile, per zona e tipologia di abitazione sono stati ricavati dalla base di dati *Majic*¹²; la base *Perval* e la base *DVF*¹³ sono state utilizzate per estrarre il prezzo di vendita e la superficie abitabile corrispondente ad agli immobili oggetto di una transazione nell'area di studio, nel periodo di riferimento (2010), per zona del modello e per tipologia di unità abitativa.

Per quanto riguarda tutte le informazioni relative al sistema dei trasporti ed ai comportamenti di mobilità relativi alle diverse categorie di domanda di trasporto definite nel modello, sono stati utilizzati principalmente i dati forniti dall'*EMD*¹⁴ regionale e di dati di conteggio del traffico forniti dall'*SMTC*¹⁵. In particolare dall'*EMD* sono stati estratti i dati relativi alla ripartizione modale nell'area di studio nell'ora di riferimento e per i motivi di spostamento considerati, nonché i dati necessari a definire il numero di spostamenti medi per categoria di domanda (motivo di spostamento) e per modo di trasporto (operatore), la dotazione media di autovetture, e il numero totale di spostamenti per ogni origine e destinazione del modello.

I valori di capacità teorica stradale e di velocità a flusso nullo, i percorsi e le caratteristiche operative (frequenza del servizio) delle linee di trasporto collettivo sono stati importati dal modello di trasporto *PTV_Visum* dell'*AURG*.

Per adattare i dati estratti dalle varie basi di dati utilizzate, alla struttura del modello *Tranus_Grenoble* e per effettuare il trasferimento completo dei dati importati dal modello di trasporto *PTV_Visum* dell'*AURG*, sono state implementate diverse procedure di calcolo, trattamento e rielaborazione dati le quali non sono però l'oggetto di tale lavoro e saranno illustrate nel dettaglio in altre pubblicazioni future.

¹⁰ La banca dati *Sirene*® raccoglie dati economici e giuridici su circa 10 milioni di imprese appartenenti a tutti i settori (*sirene.fr*).

¹¹ La banca dati *Connaissance locale de l'appareil productif* (Conoscenza Locale del Sistema Produttivo - *Clap*) è fornita dall'*INSEE* e produce statistiche sull'occupazione a livello comunale e sui salari per diverse attività e settori commerciali e non commerciali.

¹² La base di dati *Mise À Jour des Informations Cadastreales* (Aggiornamento delle informazioni catastali - *Majic*) fornisce informazioni relative alle proprietà immobiliari e all'uso del suolo. Le informazioni provengono da dati fiscali, imposte immobiliari e sul reddito e le tasse sulle residenze.

¹³ *Perval* è la banca dati dei notai che comprende informazioni su tutte le transazioni di beni immobiliare; la banca dati *Demande de Valeurs Foncières* (Domanda dei Valori Fondiari - *DVF*), che fornisce le transazioni immobiliari e informazioni sull'occupazione dei suoli.

¹⁴ La banca dati *Enquêtes Ménages Déplacements* (Inchiesta Famiglie e Spostamenti - *EMD*) recensisce le caratteristiche sociodemografiche della domanda di trasporto e la descrizione di tutti i tipi di spostamento. Le inchieste sono realizzate attraverso interviste a domicilio.

¹⁵ Il *Syndicat Mixte des Transports en Commun* (Sindacato Misto del Trasporto Collettivo - *SMTC*) è un ente pubblico che gestisce il sistema della mobilità alla scala dell'agglomerazione urbana di Grenoble. Definisce le politiche dei trasporti urbani e gestisce la concertazione con i partner locali (*smtc-grenoble.org*).

Figura 3: Rappresentazione schematica dei dati di ingresso necessari ad alimentare il modello di simulazione integrata di uso del suolo e dei trasporti *Tranus_Grenoble*.



3. CONCEZIONE E DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI SIMULAZIONE FUTURA: DALLO SCOT AL MODELLO

3.1 Lo Schema di Coerenza Territoriale - SCOT

La legge francese n° 2000-1208 del 13 Dicembre 2000 relativa alla solidarietà ed al rinnovamento urbano (SRU) ha modificato profondamente la normativa relativa all'urbanistica in Francia. Il particolare la legge introduce al posto del vecchio *Schema Directeur* (Schema Direttore - SD) il cosiddetto *Schéma de Cohérence Territoriale* (Schema di Coerenza Territoriale - SCOT).

Lo SCOT è uno strumento di pianificazione promosso da un'agglomerazione di comuni¹⁶ che definisce le linee direttrici per le politiche di uso de suolo e dei trasporti. Ha l'obiettivo di migliorare e incentivare la coesione territoriale e le pratiche di pianificazione integrata, essenzialmente riferite alla pianificazione urbana, residenziale, alla localizzazione delle attività e alla mobilità. Si tratta dunque di un documento che definisce le strategie generali di sviluppo territoriale e che fissa delle soglie di equilibrio tra il tasso di urbanizzazione e la preservazione degli spazi naturali (MAE, 2006). Lo SCOT è inoltre concepito per rispettare diversi principi quali: lo sviluppo sostenibile, il controllo dello sviluppo urbano, lo sviluppo degli spazi rurali e la preservazione degli spazi naturali e del paesaggio, il principio di diversità delle funzioni urbane e della *mixité* sociale, il principio del rispetto dell'ambiente.

Lo SCOT è quindi destinato a servire da riferimento per varie politiche settoriali, assicurando la coerenza tra interventi in diversi settori come l'urbanistica, i trasporti, lo sviluppo socio economico e le politiche ambientali, nonché tra i vari strumenti di pianificazione di livello intercomunale come: il *Plans Locaux d'Urbanisme* (Piano Locale d'Urbanistica - PLU), il *Plans de Déplacements Urbains* (Piano degli Spostamenti Urbani - PDU), il *Programmes Locaux de l'Habitat* (Programma locale abitativo - PLH) (MLHD, 2016).

Nel dettaglio lo SCOT contiene 3 documenti:

- Un rapporto di presentazione che contiene una diagnosi e una valutazione ambientale del territorio considerato: permette di identificare i punti di forza e di debolezza del territorio e motiva le scelte definite nei documenti successivi.
- Il *Projet d'Aménagement et de Développement Durables* (Progetto di pianificazione e sviluppo sostenibile - PADD) : è un documento che espone il progetto politico e la visione a lungo termine per territorio considerato.
- Il *Document d'Orientation et d'Objectifs* (Documento di orientazione e degli obiettivi - DOO): è in sostanza la traduzione concreta del PADD e vi conferisce un valore prescrittivo. Costituisce dunque

¹⁶ *Établissement Public de Coopération Intercommunale* (Ente Pubblico di Cooperazione Intercomunale - EPCI)

in pratica il “regolamento” dello SCOT e ad esso devono conformarsi ed essere resi compatibili i PLU, PLH e PDU.

- Nel caso dello *SCOTRUG* il capitolo consacrato alla localizzazione delle attività commerciali sul territorio è stato trattato in un documento a parte definito *Document d’Aménagement Commercial* (Documento di Pianificazione delle Attività Commerciali - DAC).

3.2 Lo Schema di Coerenza Territoriale della Regione Urbana di Grenoble

L’Istituzione pubblica dello SCOT per la Regione Urbana di Grenoble (*Etablissement Public du SCOT de la Région Urbaine de Grenoble* – EP_SCOT) nasce nel 1995 e rappresenta diverse intercomunalità (EPCI).

L’EP_SCOT ha la missione di elaborare il documento di orientazione urbanistica dello SCOT e ha nominato l’AURG come ente di accompagnamento nel processo di elaborazione e messa in opera dello SCOTRUG, insieme a 10 intercomunalità e 276 Comuni. Lo SCOTRUG risulta, per superficie considerata, il secondo di Francia e, concepito a partire dal 2008, si riferisce all’intervallo temporale 2010 – 2030, con lo scopo di rispondere alla seguente domanda: “*come soddisfare in maniera sostenibile i bisogni degli abitanti e vivere meglio insieme nella Regione Urbana di Grenoble?*”. Appoggiandosi sui tre principi cardine del *preservare, equilibrare e organizzare*, lo SCOTRUG identifica tra i suoi obiettivi principali: la salvaguardia degli spazi naturali e agricoli, la riduzione e il controllo del consumo di energia, la limitazione dell’esposizione della popolazione alle emissioni inquinanti e al rischio, l’ottimizzazione degli spostamenti, la crescita dell’occupazione e una sua ripartizione equilibrata sul territorio, la qualificazione e ripartizione dell’offerta immobiliare sul territorio. In particolare l’interesse è quello di rinforzare i legami tra l’agglomerazione urbana di Grenoble e il territorio circostante, promuovendo uno sviluppo equilibrato, rispondendo alla crescente domanda residenziale in prossimità delle aree a più alta densità occupazionale, costruendo un’armatura urbana multipolare e dinamizzando l’offerta commerciale dei centri minori e promuovendo una maggiore coordinazione tra i comuni, per quanto riguarda lo sviluppo integrato di servizi e infrastrutture.

Le modalità e gli assi di intervento individuati dallo SCOTRUG per realizzare tali obiettivi in maniera efficace sono dunque i seguenti (AURG, 2012):

- consolidare il perimetro della Regione Urbana di Grenoble;
- fare dell’offerta di trasporto un vero strumento di incitazione all’equilibrio dei territori e alla mobilità di prossimità;
- ridurre la concorrenza tra le collettività locali e sviluppare gli strumento e metodi di cooperazione;
- fare lo SCOTRUG il luogo di costruzione delle decisioni collettive;
- dotarsi di metodi di ingegneria e di strumenti di controllo del sistema fondiario;
- costruire un dispositivo perenne e comune per il monitoraggio e la messa in opera dello SCOTRUG.

Un elemento chiave è appunto tale intenzione di consolidare e sistematizzare il processo di monitoraggio e di controllo della messa in opera dello SCOT nel tempo. In particolare la legge prevede obbligatoriamente una procedura di valutazione dei risultati dello SCOT, da effettuare ogni sei anni da parte di un organo indipendente, a seguito della quale l’EP_SCOT può procedere eventualmente ad una modifica o revisione dello SCOT stesso. Nel caso specifico dello SCOTRUG si è deciso di andare oltre le prescrizioni della normativa e di mettere in opera un processo di monitoraggio continuo, con l’obiettivo di misurare progressivamente le evoluzioni del territorio e confrontarle con gli obiettivi previsti dallo SCOTRUG. Come verrà illustrato nel dettaglio nel prossimo paragrafo, è precisamente nell’interesse di alimentare e contribuire a questo processo di monitoraggio continuo che si iscrive il lavoro di modellizzazione e di scenarizzazione descritto nel presente articolo.

3.3 *L'interesse della modellizzazione integrata di uso del suolo e dei trasporti per il monitoraggio dello SCOT.*

L'AURG, come previsto dalla normativa e in conformità al suo ruolo di ente di ingegneria territoriale di supporto alle collettività territoriali nell'attività di pianificazione urbana e dei trasporti, ha contribuito a tutto il processo di elaborazione e messa in opera dello *SCOTRUG* e in particolare si è impegnata nell'attuazione del processo di monitoraggio del territorio nell'ottica di valutare costantemente la riuscita degli obiettivi contenuti nello *SCOTRUG*. Tale lavoro consiste nel verificare se le evoluzioni del territorio vanno nel senso degli obiettivi prefissati, concentrandosi principalmente su 6 tematiche (ambiente, trasporti, consumo di suolo, attività commerciali, offerta occupazionale, offerta residenziale) e 7 domande fondamentali, alle quali sono stati rispettivamente associati una serie di indicatori chiave (AURG, 2012):

- Q1: Come evolve l'attrattività della Regione Urbana di Grenoble?
 - o Indicatori chiave: *evoluzione demografica; occupazionale; livelli di accessibilità ferroviaria e stradale.*
- Q2: Tale evoluzione contribuisce ad un re-equilibrio della localizzazione delle attività e delle residenze tra i poli e i settori del territorio?
 - o Indicatori chiave: *localizzazione crescita demografica e occupazionale; localizzazione e evoluzione dell'offerta residenziale, commerciale, dei servizi e delle attività; evoluzione dell'offerta di trasporto (trasporto collettivo, mobilità attiva, sistema dei parcheggi etc.), dei livelli di traffico e frequentazione dei servizi di trasporto collettivo; evoluzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti; evoluzione della produzione di energie rinnovabili.*
- Q3: L'offerta immobiliare permette di rispondere ai bisogni e di contribuire ad una maggiore *mixité* sociale?
 - o Indicatori chiave: *evoluzione dei tassi locativi e del parco residenziale nuovo; evoluzione dei prezzi immobiliari e fondiari; evoluzione dell'offerta residenziale sociale e abbordabile.*
- Q4: Qual è il livello di intensificazione della pianificazione dello spazio urbano?
 - o Indicatori chiave: *numero di costruzioni nuove per anno; densità residenziale; parte e tipologie di costruzioni nuove riferite ad interventi di rinnovo urbano o di estensione urbana; parte di residenze di tipo individuale/collettivo/misto.*
- Q5: Come evolve la qualità della vita?
 - o Indicatori chiave: *esposizione alle emissioni inquinanti e livello di esposizione al rischio naturale e tecnologico; qualità e preservazione patrimonio immobiliare; qualità dei paesaggi urbani.*
- Q6: Qual è il livello di riduzione del consumo di suolo naturale e agricolo?
 - o Indicatori chiave: *evoluzione artificializzazione del territorio; del consumo di suolo naturale e agricolo; evoluzione della dinamica agricola.*
- Q7: Qual è il livello di preservazione e di valorizzazione delle risorse naturali?
 - o Indicatori chiave: *livello di protezione dei corridoi ecologici e delle riserve di biodiversità; Evoluzione degli spazi naturali e delle specie protette; evoluzione della protezione delle risorse naturali e della prevenzione dall'inquinamento*

In tale contesto si iscrive il lavoro di scenarizzazione per il modello *Tranus_Grenoble*, con l'obiettivo di contribuire a tale processo di monitoraggio e valutazione degli effetti e dell'impatto delle politiche dello *SCOTRUG* sul territorio. La possibilità di poter effettuare un'analisi delle interazioni e dei fenomeni di retroazione tra il sistema della mobilità, le dinamiche di localizzazione residenziale e la distribuzione delle attività economiche e degli occupati sul territorio, in maniera integrata e dettagliata, risulta infatti di grande interesse per gli specialisti dell'AURG e attinente alla loro attività di valutazione *in itinere* dello *SCOTRUG*.

In particolare nella prima fase del lavoro di scenarizzazione si è proceduto ad individuare e selezionare le questioni fondamentali alle quali il modello *Tranus_Grenoble* potesse essere in grado di rispondere e in seguito, quali informazioni e quali indicatori potesse fornire e con quale livello di precisione e affidabilità, sulla base della struttura dello scenario base del modello e dei dati in ingresso disponibili.

Attraverso una serie di workshop e di riunioni tecniche tenutesi tra i ricercatori dell'INRIA e gli specialisti dell'AURG si è dunque rilevato come il modello *Tranus_Grenoble* potesse effettivamente rispondere a 3 delle 7 principali questioni riguardanti la valutazione dell'impatto dello SCOTRUG (Q2, Q3, Q4), più una aggiuntiva al di fuori delle 7 fondamentali (Q8: “Quali sono gli impatti delle politiche di riequilibrio territoriale sulla domanda di spostamenti?”) e fornire inoltre informazioni riferite a diversi indicatori:

- Q2 *Tranus_Grenoble* - indicatori forniti: *evoluzione e localizzazione demografica e occupazionale; evoluzione e localizzazione dell'offerta residenziale; evoluzione dell'offerta di trasporto (trasporto collettivo, mobilità attiva etc.), dei livelli di traffico e frequentazione dei servizi di trasporto collettivo; evoluzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti.*
- Q3 *Tranus_Grenoble* - indicatori forniti: *evoluzione dei prezzi immobiliari; parte parco immobiliare per tipologia (casa individuale/indipendente, abitato collettivo).*
- Q4 *Tranus_Grenoble* - indicatori forniti: *numero di costruzioni nuove per anno; densità residenziale e occupazionale.*
 - o Indicatori forniti indirettamente: *stima dei bisogni fondiari; stima del livello di rinnovamento del parco immobiliare* (possibile con dati e calcoli complementari).
- Q8 *Tranus_Grenoble* - indicatori forniti: *evoluzione del traffico stradale, della ripartizione modale e del livello di intermodalità; evoluzione dei costi di spostamento (valutazione dell'accessibilità).*
 - o Indicatori forniti indirettamente: *Calcolo delle emissioni GES* (possibile con dati e calcoli complementari).

A questo punto si è potuto procedere a definire gli obiettivi e le ipotesi alla base dei vari scenari di simulazione da implementare nel modello *Tranus_Grenoble*. In sostanza gli scenari saranno basati sulle ipotesi di evoluzione dell'offerta residenziale e di trasporto (nonché sulle proiezioni di crescita demografica e occupazionale al 2020 e al 2030¹⁷) contenute nello SCOTRUG ed in particolare sui dati relativi ai nuovi edifici di tipo residenziale, che si prevede saranno costruiti entro il 2022. Il documento di pianificazione SCOTRUG precisa infatti alcuni obiettivi numerici, relativi al numero di nuove unità residenziali, da costruire nei comuni compresi nel perimetro di intervento, precisando inoltre la parte di suolo di tipo residenziale destinata ad abitazioni di tipo individuale o collettivo, per ciascun comune o agglomerazione di comuni. Tali obiettivi dovranno essere rispettati e recepiti dai documenti di pianificazione urbana di livello inferiore. Questi dati rappresentano la fonte principale per la definizione delle ipotesi iniziali e per l'implementazione degli scenari di simulazione per il modello *Tranus_Grenoble*.

L'interesse è quello di simulare l'impatto di tali politiche urbanistiche contenute nello SCOTRUG, sui comportamenti di mobilità e sulle dinamiche di localizzazione delle famiglie e delle attività nell'area di studio.

3.4 Trasferimento degli obiettivi di nuova urbanizzazione dello SCOTRUG al modello *Tranus_Grenoble*

Nel presente paragrafo andremo ad illustrare le varie fasi di implementazione dei tre scenari di simulazione futura per il modello *Tranus_Grenoble*, illustrando la procedura adottata per l'integrazione degli obiettivi numerici di costruzione di nuove unità di tipo residenziale forniti dallo SCOTRUG, all'orizzonte del 2022, nel software *Tranus*. Si tratta di obiettivi numerici precisati per ciascun comune dell'area di studio. Tali dati sono stati forniti dall'AURG sotto forma di tabelle *Excel*, contenenti diverse informazioni per ciascun comune e EPCI (agglomerazione di comuni). In Figura 4 è rappresentata a titolo di esempio, la tabella con gli obiettivi di nuova urbanizzazione per l'EPCI di Pays de Bièvre Liers. In particolare a partire

¹⁷ Le proiezioni di evoluzione della popolazione e degli occupati al 2020 e al 2030 sono state effettuate dall'AURG nell'ambito dell'implementazione del modello di trasporto in *Visum*.

da questo tipo di tabelle, i dati che sono stati utilizzati direttamente per l'implementazione degli scenari di simulazione nel modello *Tranus_Grenoble* sono i seguenti:

- dati generali sul territorio:
 - o gerarchia e tipologia di poli urbani;
 - o nome del comune;
 - o popolazione nell'anno base 2010 per comune.
- Nuovi obiettivi di costruzione abitativa:
 - o obiettivo medio di costruzione / anno / 1.000 abitanti;
 - o numero teorico di unità residenziali da costruire entro 12 anni;
 - o numero teorico di unità residenziali da costruire ogni anno (per 12 anni).

Per quanto riguarda la definizione della gerarchia di importanza dei vari comuni considerati nello *SCOTRUG*, si considerano cinque diverse tipologie di poli urbani:

- Poli urbani locali;
- Città principali;
- Poli principali;
- Poli secondari;
- Poli di supporto;
- Poli turistici.¹⁸

Dai dati presenti in Figura 4 si evince come lo *SCOTRUG* fornisca inoltre, per ciascun comune, una indicazione aggiuntiva di tipo strategico, associata agli obiettivi numerici di costruzione di nuove unità residenziali, caratterizzando ciascun comune attraverso un obiettivo massimo o minimo, riferito al numero di nuove abitazioni da costruire.

Figura 4: Tabella contenuta nello *SCOTRUG* che definisce gli obiettivi di costruzione di nuove unità residenziali per l'EPCI di Pays de Bièvre Liars.

OBJECTIFS DE CONSTRUCTION DE LOGEMENTS - CCRIL							
DONNEES GENERALES SUR LE TERRITOIRE			OBJECTIFS DE CONSTRUCTION DE LOGEMENTS NEUFS DU SCoT			POLITIQUE PUBLIQUE LOCALE DE L'HABITAT	OBJECTIF DU SCoT
Hiérarchie de pôles SCoT	Commune	Population 2010	Objectifs moyens de construction / an / 1000 habitants	Nombre théorique de logements à construire sur 12 ans	Nombre théorique de logements à construire par an (à apprécier sur 12 ans pour les documents d'urbanisme locaux)	Objectifs de production de logements à 6 ans du PLH	Objectifs d'accroissement de l'offre en logements locatifs sociaux (sur 6 ans)
POLES PRINCIPAUX	La Côte-Saint-André	4833	au moins	319	27	180	+ 0.7 point sur le taux de logements sociaux
	Saint-Siméon-de-Bressieux	2777		183	15	90	
	Total Général	7610		502	42	270	
POLES D'APPUI	Bréins	1739	5.5 logements	116	10	48	
	Champlier	1242		82	7	36	
	Paramans	935		62	5	30	
	La Frette	1085		72	6	36	
	Saint-Hilaire-de-la-Côte	1434		95	8	48	
	Total Général	6455		426	36	198	
POLE SECONDAIRE	Pajay	1050		69	6	30	
POLES LOCAUX	Arzay	216		14	1	18	
	Belbais	386		25	2	18	
	Bossieu	271		18	1	18	
	Commelle	794		52	4	24	
	Gillonnay	975		64	5	30	
	Longchenal	570		38	3	18	
	Mottier	687		45	4	24	
	Nantoin	439		29	2	18	
	Ornacieux	403		27	2	18	
	Penol	322		21	2	18	
	Sardieu	1017		67	6	30	
	Semons	368		24	2	18	
	Total Général	6448		426	35	252	
Total EPCI		21563		1423	119	750	

Quando un comune è caratterizzato dalla notazione "*au moins*" (almeno), significa che il numero di nuove unità residenziali da costruire indicato per questo comune rappresenta un obiettivo minimo, mentre nel caso

¹⁸ Non considerati nelle ipotesi di nuova urbanizzazione che riguardano questo lavoro di modellizzazione.

della notazione "*au plus*" (al più) significa che il numero di nuove unità residenziali da costruire non può superare il numero dato, fissando dunque un obiettivo massimo. Tale assegnazione di obiettivi minimi o massimi di nuova urbanizzazione rientra in un disegno generale di sviluppo del territorio compreso nel perimetro dello *SCOTRUG*, che prevede un generale aumento dell'offerta di alloggi principalmente nei centri urbani e poli principali (e nei loro poli di supporto) e uno sviluppo residenziale moderato per i poli cosiddetti secondari e locali. Lo *SCOTRUG* fornisce inoltre delle informazioni riguardanti la tipologia degli unità residenziali da costruire e le modalità di destinazione d'uso dei suoli di tipo residenziale per ciascun comune e agglomerazione di comuni (EPCI). Per implementare gli scenari da includere nel modello *Tranus_Grenoble*, saranno considerati alcuni di questi dati relativi alle ipotesi di modifica dell'uso del suolo:

- Situazione attuale:
 - o evoluzione annuale dei terreni urbanizzati;
 - o parte della produzione abitativa attuale associata ad alloggi indipendenti/individuali.
- Obiettivi *SCOTRUG*:
 - o di produzione di alloggi indipendenti/individuali;
 - o di produzione di alloggi di tipo collettivo (raggruppati, intermediari);
 - o di consumo massimo annuo di suolo per abitazioni o sviluppo urbano misto (entro 6 anni).
- Obiettivi *SCOTRUG* per superficie media massima di:
 - o alloggi indipendenti/individuali;
 - o alloggi collettivi.

Questi dati permettono di definire nel modello *Tranus_Grenoble* la parte del numero totale di nuove unità residenziali da costruire, indicate negli obiettivi dello *SCOTRUG* per ciascun comune (vedi Figura 4), da riferire alla tipologia di alloggi di tipo indipendente/individuali o di tipo collettivo (Figura 7).

Figura 5: Rappresentazione dei comuni inclusi nel perimetro dello SCOTRUG, caratterizzati da un obiettivo minimo (blu) o un massimo (arancio) di costruzione di nuove unità di tipo residenziale.

LEGENDA

-  Agglomerazioni di Comuni (EPCI)
-  Zonizzazione SCOT_RUG
-  Zonizzazione Tranus Grenoble

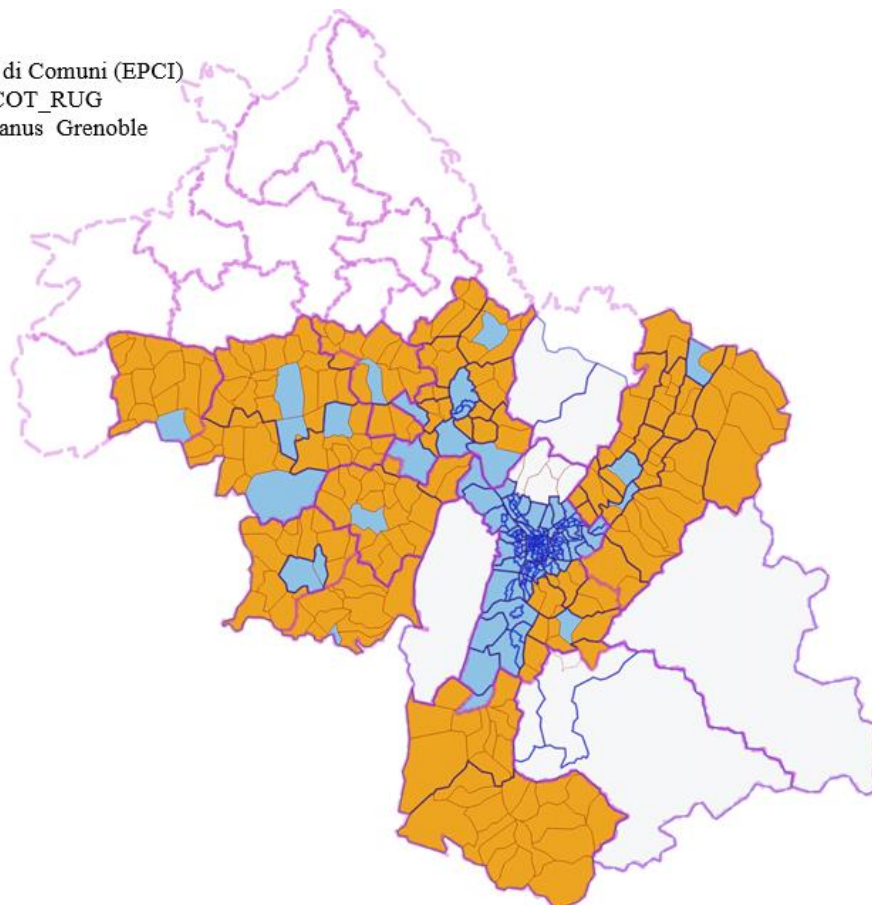


Figura 6: Strutturazione e gerarchia delle polarità urbane nello SCOTRUG.

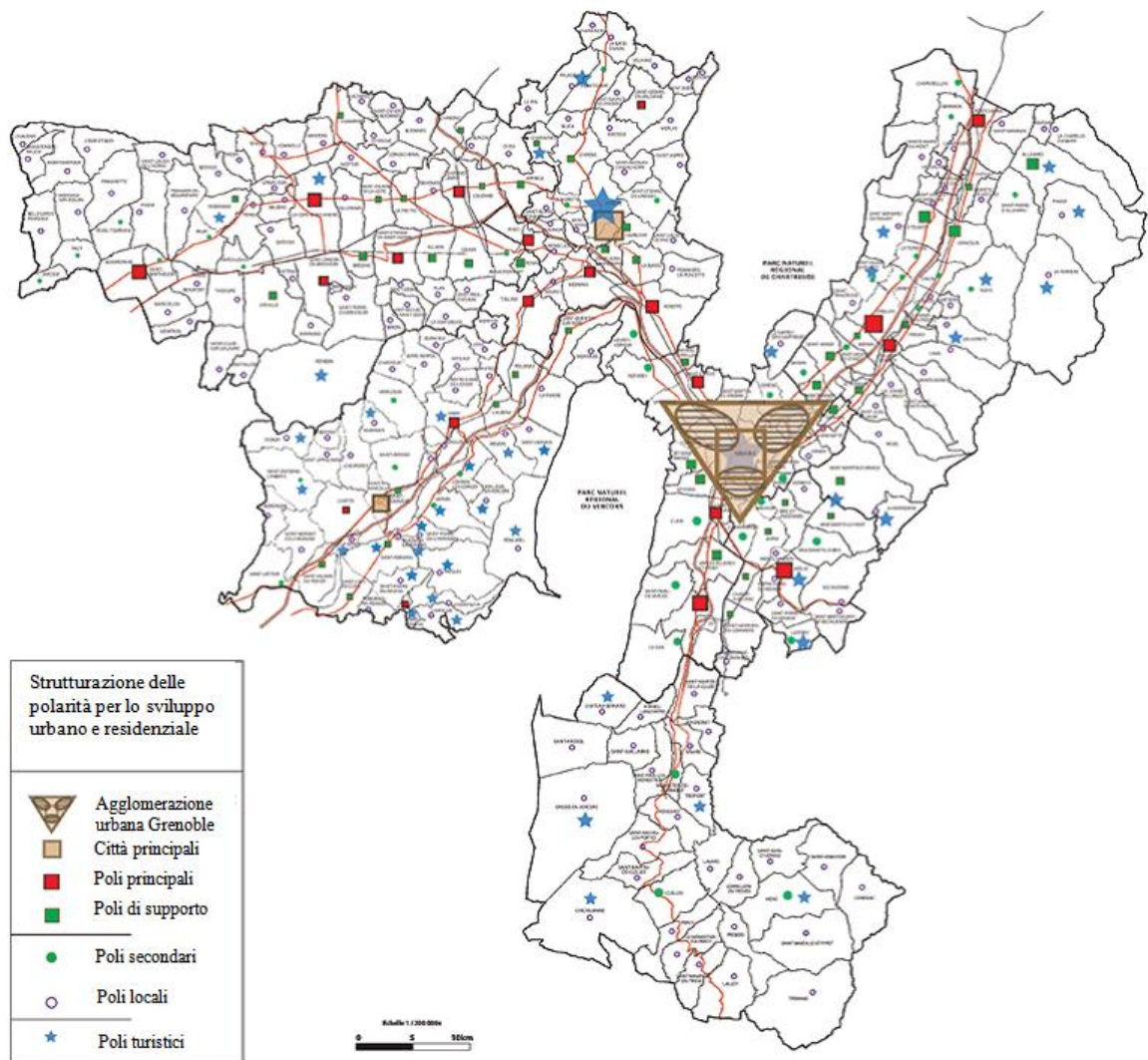


Figura 7: Tabella contenuta nello SCOT che fornisce gli obiettivi di riduzione del consumo di suolo, per l'EPCI di Pays de Saint Marcellin.

OBJECTIFS DE REDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ESPACE								
DONNEES GENERALES SUR LE TERRITOIRE		SITUATION ACTUELLE / REFERENCES PASSES		OBJECTIFS DU SCOT				
Hierarchie de pôles SCOT	Commune	Evolution annuelle de la surface d'espaces artificialisés (Sur la période 1999-2009, source	Indication sur la part de la production actuelle d'habitat individuel	Objectif de production pour l'habitat individuel	Objectif de production pour l'habitat groupé, intermédiaire et	Objectifs SCOT annuels de consommation maximale d'espace non bâti par les	Objectifs SCOT de superficie moyenne Habitat individuel isolé	Habitat groupé, intermédiaire et
VILLE CENTRE	Saint-Marcellin	2 ha / an	Entre 80 et 85%	60%	40%	10 ha / an	700 m ² / logement	350 m ² / logement
POLE PRINCIPAL	Chatte	3 ha / an						
POLES D'APPUI	Saint-Hilaire-du-Rosi	1 ha / an						
	Saint-Sauveur	-2 ha / an						
	Total Général	-1 ha / an						
POLES SECONDAIRES	Saint-Antoine-l'Abbaye	1 ha / an						
	Saint-Lattier	3 ha / an						
	Saint-Vérand	1 ha / an						
	Total Général	5 ha / an						
POLES LOCAUX	Bessins	0.2 ha / an						
	Chevières	1 ha / an						
	Dionay	0.1 ha / an						
	La Sône	0.4 ha / an						
	Montagne	0.2 ha / an						
	Murais	0.3 ha / an						
	Saint-Appolinard	0.3 ha / an						
	Saint-Bonnet-de-Ch.	2 ha / an						
	Total Général	-0.3 ha / an						
		4 ha / an						

Figura 8: Tabella che fornisce una stima indicativa del dimensionamento dell'offerta fondiaria, sulla base degli obiettivi di costruzione contenuti nello SCOTRUG

ESTIMATION INDICATIVE DU DIMENSIONNEMENT DE L'OFFRE FONCIERE DANS LES DOCUMENTS D'URBANISME LOCAUX - CCBL						
DONNEES GENERALES SUR LE TERRITOIRE		Modalités pour estimer le dimensionnement			Estimation indicative (sur la base des objectifs de construction du SCoT) de la surface pour répondre aux besoins pour les 12 ans prochains (sans tenir compte des besoins fonciers indiqués ci-contre)	
Hierarchie de pôles SCoT	Commune	Cas particulier des communes auxquelles s'appliquent les objectifs moyens de construction minimums, ici les pôles principaux. Cette estimation théorique des surfaces à ouvrir à l'urbanisation n'a que peu de sens.			27 ha	
POLES PRINCIPAUX	La Côte-Saint-André	En termes de conseils pratiques de mise en œuvre : les collectivités locales concernées doivent être particulièrement vigilantes à la cohérence qu'elles développent (en la justifiant) entre : - le nombre de logements envisagé sur la durée de leur PLU, - les servitudes liées aux programmes de logement, - les règles de densité, - la disponibilité foncière en intersticiel, - le niveau du développement de l'emploi, - le niveau de desserte en transports collectifs.			15 ha	
	Saint-Siméon-de-Bressieux					
	Total Général					42 ha
POLES D'APPUI	Brézins	Les besoins en foncier sont à estimer à partir des objectifs du SCoT en matière de diversification des formes bâties, de réduction de la consommation par type d'habitat et de construction de logements (traduite dans les PLH). Pour ces derniers, les objectifs de construction à 12 ans doivent être calculés à partir des objectifs du PLH compatible avec le SCoT auxquels sont ajoutés les objectifs de construction du SCoT pour atteindre les 12 ans. Par exemple, un PLU arrêté en 2014 qui doit prendre en compte les objectifs de construction de logement « de son » PLH 2012-2017, doit prendre en compte : 3 ans des objectifs du PLH + 9 ans des objectifs du SCoT. L'estimation indicative ci-contre = objectifs de construction logements sur 12 ans* [[objectif de production pour l'habitat individuel isolé x superficie moyenne maximale] + (objectif de production pour l'habitat groupé/collectif x superficie moyenne maximale)] x 1,5 de rétention foncière / 10 000. *les objectifs de construction à 12 ans sont calculés à partir des objectifs du SCoT uniquement. En plus de ce calcul, l'estimation du dimensionnement de l'offre foncière doit prendre en compte aussi les besoins en foncier : --> pour les logements liés à l'activité touristique et logements spécifiques, --> pour les logements sociaux qui sont réalisés en plus des objectifs fixés par la loi, --> pour les grands équipements, ...			10 ha	
	Champier				6.9 ha	
	Faramans				5.2 ha	
	La Frette				6.0 ha	
	Saint-Hilaire-de-la-Côte					7.95 ha
	Total Général					36 ha
POLE SECONDAIRE	Pajay					6 ha
POLES LOCAUX	Arzay				1.2 ha	
	Balbins				2.1 ha	
	Bossieu				1.5 ha	
	Commelle				4.4 ha	
	Gillonnay				5.4 ha	
	Longechenal				3.2 ha	
	Mottier				3.8 ha	
	Nantoin				2.4 ha	
	Ornacieux				2.2 ha	
	Penol				1.8 ha	
	Sardieu				5.6 ha	
	Semons				2.0 ha	
	Total Général					36 ha
Total EPCI						120 ha

3.4.1 Procedura per la conversione dei dati dalla zonizzazione dello SCOTRUG alla zonizzazione del modello *Tranus_Grenoble*

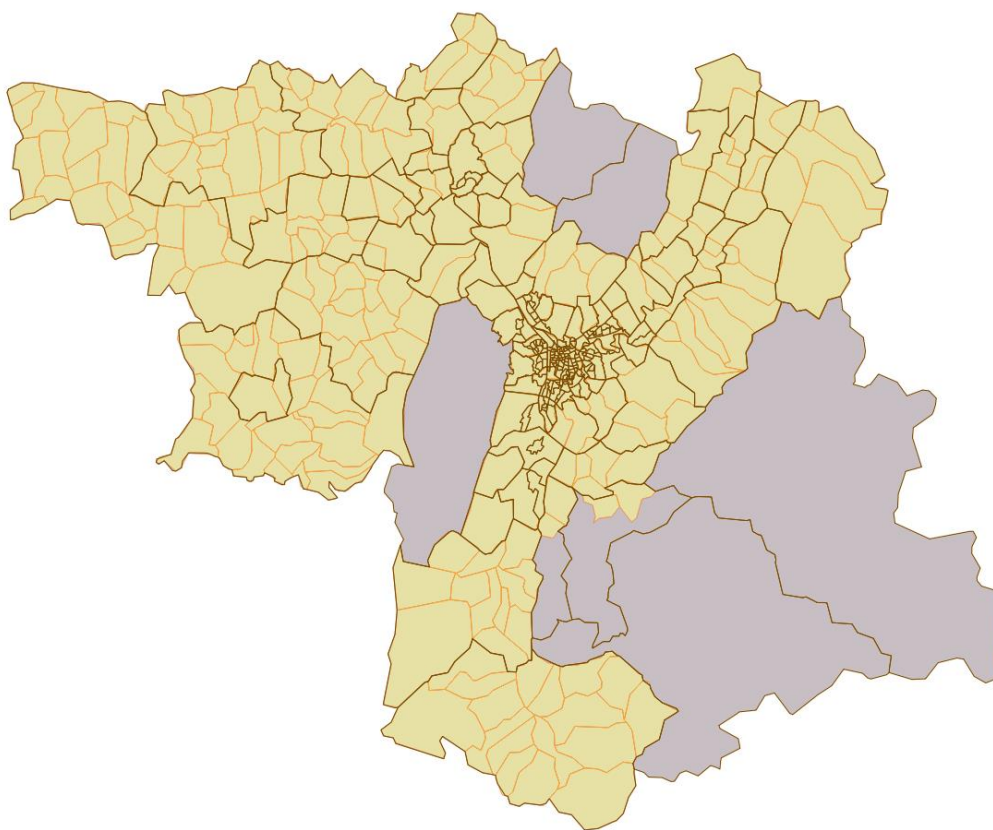
Per adattare gli obiettivi di costruzione di nuove unità residenziali contenuti nello SCOTRUG alla zonizzazione implementata nel modello *Tranus_Grenoble*, si sono resi necessari una serie di passaggi e di trattamenti di dati di tipo spaziale. Utilizzando la funzione di *unione spaziale* del programma QGIS¹⁹, a ciascun comune è stato associato a un codice identificativo (codice *Insee* e codice *Geofla*), e tutti i dati sugli obiettivi di nuova urbanizzazione contenuti nello SCOTRUG (vedi Figura 9 e Figura 10).

Figura 9: Estratto della tabella attributi in Qgis, riferita alla mappa di Figura 10, con codice identificativo *Insee* e *Geofla* e obiettivi di costruzione di nuovi alloggi residenziali, per comune.

CODE_COMM	INSEE_COM	NOM_COMM	NOME_SECT	NOME_EPCI	com	typ_pole	epci	pop2010	obj/an/100	obj_moy	nbr_log_12	nbr_log_pa	prod_gesP	obj_prod_j	obj_prod_c
450	38450	SAINT-QUENTIN-V.	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Saint-Quentin-su.	POLES D'APPLI	CC de Chambara...	1311	5.5000000000000000	au plus	87	7	Entre 80 et 85%	60%	40%
263	38263	MORETTE	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Morette	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	386	5.5000000000000000	au plus	25	2	Entre 80 et 85%	60%	40%
559	38559	VIMAY	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Vinay	POLE PRINCIPAL	CC de Chambara...	4070	5.5000000000000000	au moins	269	22	Entre 80 et 85%	60%	40%
275	38275	SERRE-NERPOL	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Serre-Nerpol	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	297	5.5000000000000000	au plus	20	2	Entre 80 et 85%	60%	40%
523	38523	VARACEUX	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Varaceux	POLES SECONDA	CC de Chambara...	826	5.5000000000000000	au plus	55	5	Entre 80 et 85%	60%	40%
278	38278	NOTRE-DAME-DE	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Notre-Dame-de-f.	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	499	5.5000000000000000	au plus	33	3	Entre 80 et 85%	60%	40%
310	38310	POLLENAS	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Pollinas	POLES D'APPLI	CC de Chambara...	1098	5.5000000000000000	au plus	72	6	Entre 80 et 85%	60%	40%
338	38338	LA RIVIERE	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	La Rivière	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	637	5.5000000000000000	au plus	42	4	Entre 80 et 85%	60%	40%
086	38086	CHASSELAY	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Chasselay	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	431	5.5000000000000000	au plus	28	2	Entre 80 et 85%	60%	40%
216	38216	MALLEVAL-EN-VE	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Malleval-en-Vercors	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	51	5.5000000000000000	au plus	3	0	Entre 80 et 85%	60%	40%
074	38074	CHANTESSE	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Chantesse	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	315	5.5000000000000000	au plus	21	2	Entre 80 et 85%	60%	40%
345	38345	ROVON	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Rovon	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	593	5.5000000000000000	au plus	39	3	Entre 80 et 85%	60%	40%
137	38137	CRAS	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Cras	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	467	5.5000000000000000	au plus	31	3	Entre 80 et 85%	60%	40%
330	38330	QUINCIEU	Sud Grésivaudan	Communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors	Quincieu	POLES LOCAUX	CC de Chambara...	81	5.5000000000000000	au plus	5	0	Entre 80 et 85%	60%	40%

¹⁹ Geographic information system – Sistema informativo geografico.

Figura 10: Mappa QGis con zonizzazione SCOTRUG (bordo arancio) e zonizzazione modello *Tranus_Grenoble* (bordo marrone).



Il passo successivo è quello di associare e uniformare la zonizzazione del modello *Tranus_Grenoble* alla zonizzazione dello SCOTRUG. Questa passaggio ha presentato alcune difficoltà a causa del fatto che sono stati necessari due diversi livelli di conversione: un processo di aggregazione nel caso in cui una zona SCOTRUG includeva più di una zona *Tranus_Grenoble* e un processo di disaggregazione quando una zona *Tranus_Grenoble* comprendeva più di una zona SCOTRUG.

Due differenti *unioni spaziali* sono state eseguite in QGis: in particolare dapprima è stata eseguita una *unione spaziale* tra i centroidi di zona SCOTRUG (punti) e le zone *Tranus_Grenoble* (poligoni). In questo modo ogni centroide di zona SCOTRUG è stato associato ad una zona *Tranus_Grenoble*, tranne nei casi in cui più di una zona *Tranus_Grenoble* risultava inclusa in una singola zona SCOTRUG.

A questo punto è stata nuovamente effettuata un'*unione spaziale* in QGis, tra i centroidi di zona *Tranus_Grenoble* (punti) e le zone SCOTRUG (poligoni), consentendo in questo caso di associare gruppi di centroidi di zona *Tranus_Grenoble* alla corrispondente zona SCOTRUG.

Successivamente le tabelle degli attributi provenienti da queste due unioni spaziali sono state unite, in modo da ottenere una singola tabella con una completa integrazione tra le zone del modello *Tranus_Grenoble* e le zone dello SCOTRUG, associate agli obiettivi di costruzione di nuove abitazioni residenziali per ogni comune.

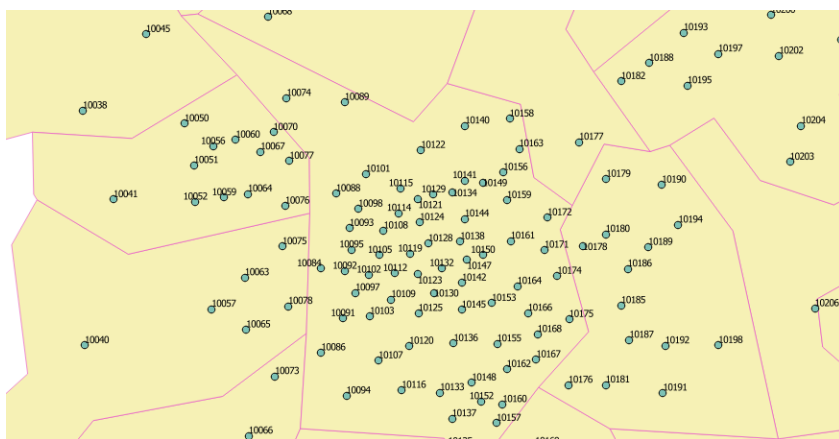
In particolare, nel caso in cui una zona del modello *Tranus_Grenoble* include diversi centroidi di zona SCOTRUG, il numero di nuove unità residenziali assegnati a tale zona sarà pari alla somma degli obiettivi di nuova urbanizzazione relativi a tutte le zone SCOTRUG contenute in essa. Nell'altro caso, in cui diversi centroidi di zona del modello *Tranus_Grenoble* sono inclusi in un'unica zona SCOTRUG, il numero totale di nuove unità abitative viene ripartito (disaggregato) per ogni zona *Tranus_Grenoble*, in funzione dei dati relativi all'evoluzione della popolazione in queste zone. In particolare le proiezioni relative all'evoluzione della popolazione e dei livelli occupazionali al 2020 e al 2030 per l'area di studio, sono state fornite dall'AURG in maniera aggregata (senza una caratterizzazione per categoria di popolazione e settori di

attività). Tali proiezioni saranno dunque anche usate per stimare il tasso di crescita delle varie categorie di popolazione e degli addetti dei vari settori di attività definiti del modello *Tranus_Grenoble*, attraverso una metodologia di calcolo implementata appositamente²⁰.

Figura 11: Zone in cui una zona Tranus_Grenoble comprende diversi centroidi di zona SCOTRUG.



Figura 12: Zone in cui una zona SCOTRUG comprende diversi centroidi di zona Tranus_Grenoble.



Dopo aver ottenuto una tabella contenente gli obiettivi *SCOTRUG* di nuova urbanizzazione, elencati per comune, agglomerazione di comuni (EPCI) e associati alla zonizzazione *Tranus_Grenoble*, si è proceduto ad riassegnare anche gli obiettivi strategici (minimi o massimi) di nuova urbanizzazione.

Come già illustrato in precedenza lo *SCOTRUG* fornisce un'indicazione qualitativa oltre che quantitativa relativa agli obiettivi di costruzione di nuove abitazioni residenziali, caratterizzando ciascun comune con un obiettivo minimo ("au moins") o massimo ("au plus") di unità abitative da costruire. Tenendo conto di tale impostazione, si è dunque proceduto a trasferire tali obiettivi alla nuova zonizzazione riferita al modello *Tranus_Grenoble* nella modalità seguente: nel caso di una zona *SCOTRUG* che comprende più di un centroide di zona *Tranus_Grenoble*, tutte le zone *Tranus_Grenoble* interessate "ereditano" automaticamente la notazione (obiettivo minimo o massimo) della corrispondente zona *SCOTRUG*.

Nel caso inverso (dove una zona *Tranus* comprende più di un centroide di zona *SCOTRUG*) è stata creata una metodologia specifica: quando almeno una zona *SCOTRUG* (oppure un gruppo di centroidi di zona

²⁰ Per tali procedura è stato necessario effettuare un lavoro di messa in coerenza tra le proiezioni di crescita di popolazione e addetti al 2020 e al 2030 dello *SCOTRUG* e i dati di ingresso (popolazione e addetti) del modello *Tranus_Grenoble* riferiti al 2010 (importati a loro volta dal modello di trasporti *PTV –VISUM* dell'AURG) che sarà illustrato nel dettaglio in pubblicazioni future.

SCOTRUG inclusi in una singola zona *Tranus_Grenoble*) è caratterizzata dalla notazione "*au moins*" (obiettivo minimo), allora tutte le zone *Tranus_Grenoble* "ereditano" la notazione "*au moins*" (obiettivo minimo, altrimenti la notazione sarà "*au plus*" (obiettivo massimo) (vedi Tabella 2).

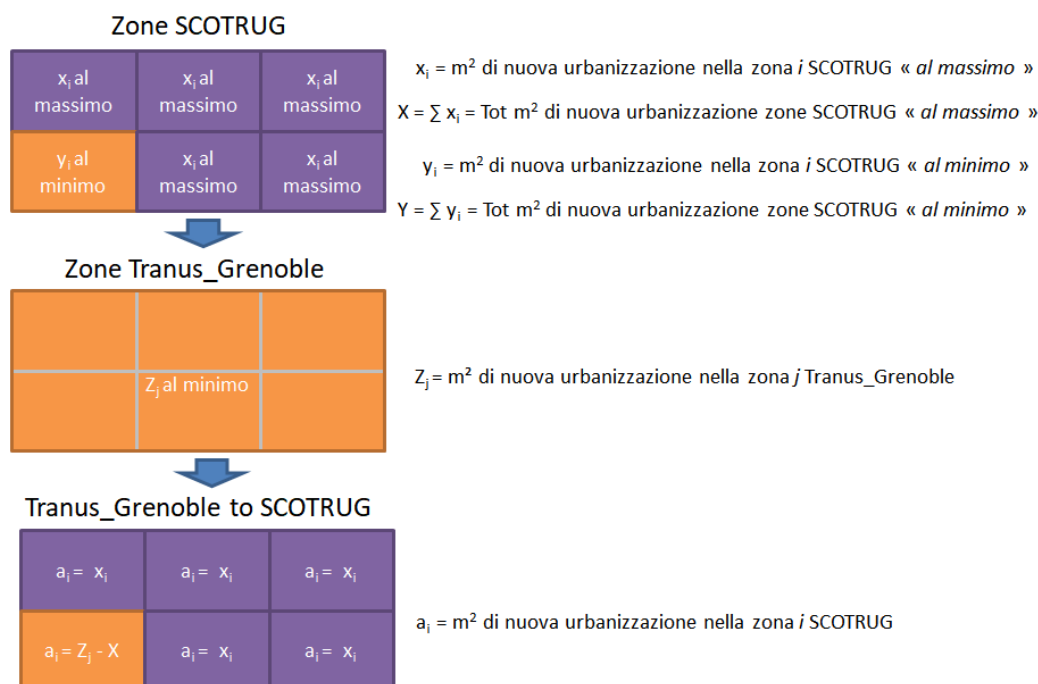
Questo particolare processo di trasferimento degli obiettivi strategici di nuova urbanizzazione dello SCOTRUG alla zonizzazione del modello *Tranus_Grenoble*, richiede di conseguenza la definizione di un processo numerico inverso, che consentirà di riaggregare in seguito i risultati relativi alla localizzazione di residenze e attività nel territorio provenienti dai risultati della simulazione, in accordo con la zonizzazione SCOTRUG. Un esempio numerico di questo processo è illustrato nella Figura 13.

Tabella 2: Trasferimento degli obiettivi strategici di nuova urbanizzazione dello SCOTRUG alla zonizzazione del modello *Tranus_Grenoble* (esempio per l'agglomerazione di comuni di Chambaran Vinay Vercors).

Nome comune	Nome agglomerazione comuni	Zona <i>Tranus_Grenoble</i>	Obiettivo SCOTRUG	Obiettivo <i>Tranus_Grenoble</i>	Nuove unità residenziali al 2022
CHASSELAY	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	28
COGNIN-LES- GORGES	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	43
VATILIEU	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	25
CRAS	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	31
QUINCIEU	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	5
VARACIEUX	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	55
BEAULIEU	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	41
VINAY	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	almeno	almeno	269
MALLEVAL- EN-VERCORS	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	3
SAINT- GERVAIS	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	38
SERRE- NERPOL	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	20
NOTRE-DAME- DE-L'OSIER	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	33
POLIENAS	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	72
CHANTESSSE	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	21
LA RIVIERE	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	42
ROVON	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	39
L'ALBENC	CC Chambaran Vinay Vercors	10008	al più	almeno	72

Per completare il trasferimento degli obiettivi SCOTRUG di nuova urbanizzazione nel modello *Tranus_Grenoble*, sono state necessarie alcune ulteriori procedure numeriche. Il numero totale di nuove abitazioni previste nello SCOTRUG è infatti diviso tra alloggi di tipo individuale e collettivo, attraverso la definizione di una percentuale di ripartizione degli obiettivi totali di costruzione per tipologia abitativa, associate ad un valore obiettivo di superficie media massima per tipologia di unità residenziale, definito per ciascuna comune e agglomerazione di comuni (vedi Figura 7). Utilizzando tali valori, è stato possibile ricavare dunque il valore di superficie residenziale totale disponibile per tipologia abitativa e zona del modello *Tranus_Grenoble*.

Figura 13: Procedura di calcolo per riconvertire i risultati delle simulazioni del modello *Tranus_Grenoble* secondo la zonizzazione SCOTRUG, rispettando gli obiettivi strategici minimi o massimi previsti.



A partire dalla base di dati *Majic* è stato estratto un valore di superficie media residenziale, per tipologia abitativa (individuale o collettiva) e per zona *Tranus_Grenoble*. Si è proceduto dunque alla stima della parte effettiva di nuove unità residenziali, in funzione delle dimensioni (piccole, medie, grandi), della tipologia (casa o appartamento) e della zona di appartenenza.

A questo punto è stato necessario associare e uniformare tra di loro questi diversi tipi di informazioni: numero totale di nuove abitazioni individuali e collettive per ogni zona SCOTRUG; superficie media abitabile per tipologia di alloggio e zona *Tranus_Grenoble*; percentuale di unità residenziali per dimensione, tipologia abitativa e zona *Tranus_Grenoble*. In sostanza si moltiplica il numero di alloggi (indipendenti e collettivi) ricavati dalla ripartizione in percentuale fornita dallo SCOTRUG, per il valore di superficie media per tipologia di alloggio e zona *Tranus_Grenoble* estratto dalla base *Majic*. Le superfici totali ottenute sono state ripartite per dimensione (piccola, media, grande), tipologia e zona *Tranus_Grenoble* basandosi sulle percentuali di ripartizione della superficie abitativa disponibile (per dimensione degli alloggi), fornite dallo scenario base (cioè dai dati riferiti al 2010).

Questa ultima procedura è stata effettuata attraverso l'utilizzo del software PgAdmin²¹ in due diverse fasi: una prima fase relativa all'unione spaziale tra i dati *Majic* di superficie residenziale occupata e i dati SCOTRUG di nuove abitazioni da costruire, per il primo gruppo di zone (in cui una zona *Tranus_Grenoble* comprende diversi centroidi di zona SCOTRUG) e una seconda unione per il secondo gruppo di zone (in cui una zona SCOTRUG comprende diversi centroidi di zona *Tranus_Grenoble*), usando gli stessi criteri di disaggregazione descritti in precedenza.

3.5 Definizione degli scenari di simulazione

A questo punto è stato possibile creare una singola tabella con una corrispondenza tra la zonizzazione del modello *Tranus_Grenoble*, la zonizzazione SCOTRUG e gli obiettivi di costruzione di nuove abitazioni contenuti nello SCOTRUG classificati per unità residenziali di tipo individuale e collettivo e per dimensioni

²¹ PgAdmin è la piattaforma di amministrazione e sviluppo di PostgreSQL, modello di base di dati a oggetti open source.

(piccola, media, grande). Ciò ha consentito di procedere alla definizione vera e propria degli scenari di simulazione e al trasferimento nel modello delle ipotesi di nuova urbanizzazione contenute nello SCOTRUG.

Sono stati definiti tre diversi scenari di simulazione: un primo scenario definito Scenario SCOTRUG e due scenari contrastanti definiti Scenario *Sprawl* (dispersione urbana) e Scenario *centralizzazione*.

Nel primo scenario si ipotizza una piena attuazione degli obiettivi di nuova urbanizzazione contenuti nello SCOTRUG, mentre negli altri due scenari si ipotizza un'attuazione parziale degli obiettivi dello SCOTRUG, con una tendenza alla dispersione urbana e alla frammentazione del territorio nel secondo scenario e un terzo scenario che al contrario ipotizza una dinamica di *centralizzazione* o *polarizzazione* urbana. I periodi di simulazione per tutti gli scenari vanno dal 2010 al 2030, con simulazioni intermedie ogni 5 anni (2010, 2015, 2020, 2025, 2030). Per tener conto del tasso di evoluzione della popolazione e dell'occupazione nei tempi futuri di simulazione, si considerano le proiezioni di popolazione e occupazione a partire dal 2020 e dal 2030 effettuate dall'AURG.

Le ipotesi di sviluppo urbano futuro definite per gli scenari *Sprawl* e *Centralizzazione*, sono state concepite in funzione del tipo di polo urbano considerato. In particolare lo scenario *Sprawl* promuove uno sviluppo urbano principalmente localizzato nei poli secondari e locali, mentre lo scenario *Centralizzazione* prevede uno sviluppo urbano principalmente localizzato nelle città principali, nei poli principali ed nei poli cosiddetti di sostegno. Per adattare le ipotesi di nuova urbanizzazione ad ogni scenario è stato definito un criterio generale di redistribuzione dell'offerta residenziale e degli obiettivi strategici di urbanizzazione (obiettivi minimi o massimi) in funzione della gerarchia di importanza dei vari poli urbani definita in precedenza:

- Scenario SCOTRUG: ipotesi di attuazione totale degli obiettivi di nuova urbanizzazione contenuti nello SCOTRUG.
- Scenario di dispersione urbana (*Sprawl*): deriva dallo scenario SCOTRUG, modificando gli obiettivi per alcune categorie di poli urbani, come segue:
 - Poli urbani locali : attuazione al 100% degli obiettivi dello SCOTRUG;
 - Città principali : attuazione al 50% degli obiettivi dello SCOTRUG;
 - Poli principali : attuazione al 50% degli obiettivi dello SCOTRUG;
 - Poli secondari : attuazione al 100% degli obiettivi dello SCOTRUG;
 - Poli di supporto : attuazione al 50% degli obiettivi dello SCOTRUG.
- Scenario di centralizzazione e polarizzazione (*Centralizzazione*): deriva dallo scenario SCOTRUG, modificando gli obiettivi per alcune categorie di poli urbani, come segue:
 - Poli urbani locali : attuazione al 50% degli obiettivi dello SCOTRUG;
 - Città principali : attuazione al 100% degli obiettivi dello SCOTRUG;
 - Poli principali : attuazione al 100% degli obiettivi dello SCOTRUG;
 - Poli secondari : attuazione al 50% degli obiettivi dello SCOTRUG;
 - Poli di supporto : attuazione al 100% degli obiettivi dello SCOTRUG.

In particolare nel caso degli scenari *Sprawl* e *Centralizzazione*, i poli urbani caratterizzati dall'ipotesi di realizzazione al 50% degli obiettivi dello SCOTRUG diventano poli “distributori”, e il restante 50% delle unità residenziali non realizzate viene redistribuito verso i poli urbani con ipotesi di realizzazione al 100% (poli “ricevitori”), proporzionalmente al numero di nuove unità abitative residenziali già previste per ciascun polo urbano. In questo modo il numero totale di nuove unità residenziali previste nello SCOTRUG resta invariato per tutti gli scenari di simulazione futuri, e per gli scenari *Sprawl* e *Centralizzazione* viene semplicemente redistribuito nell'area di studio in funzione delle specifiche ipotesi di simulazione.

Figura 14:Scenario SCOTRUG.

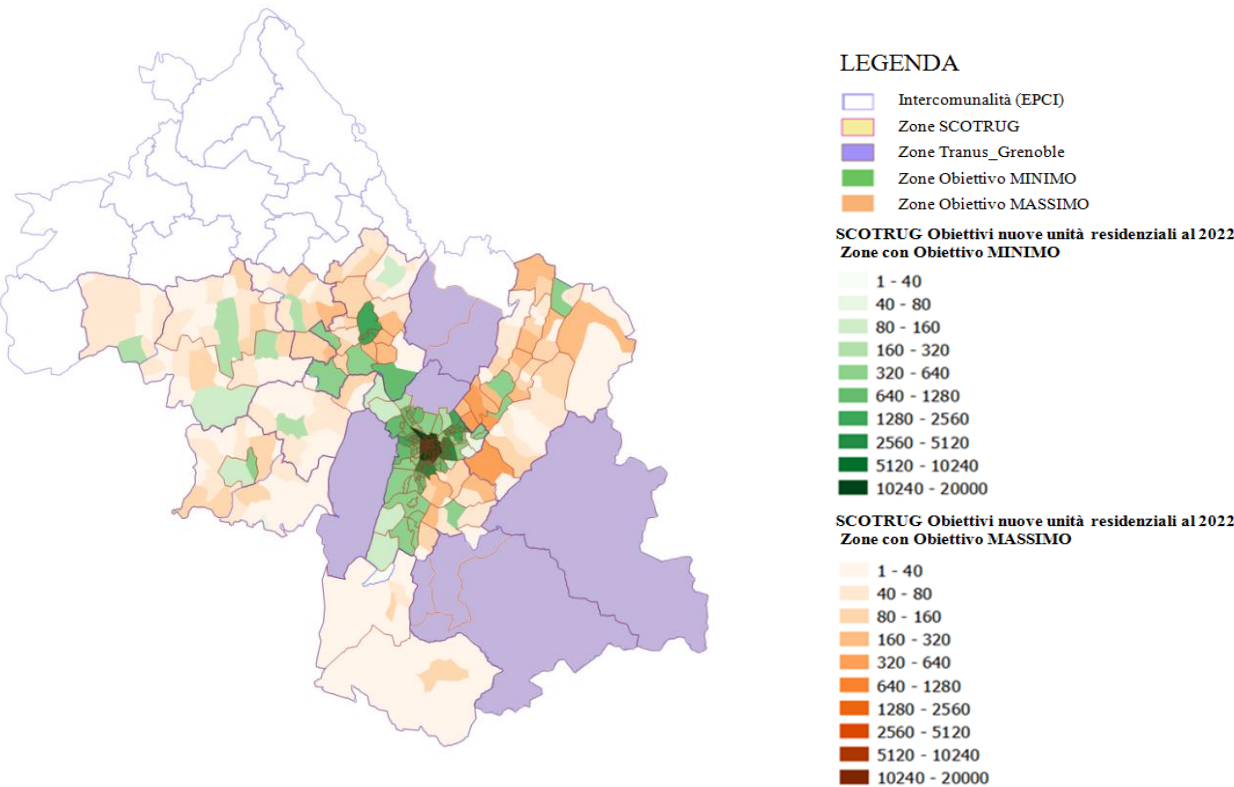


Figura 15: Scenario "Sprawl".

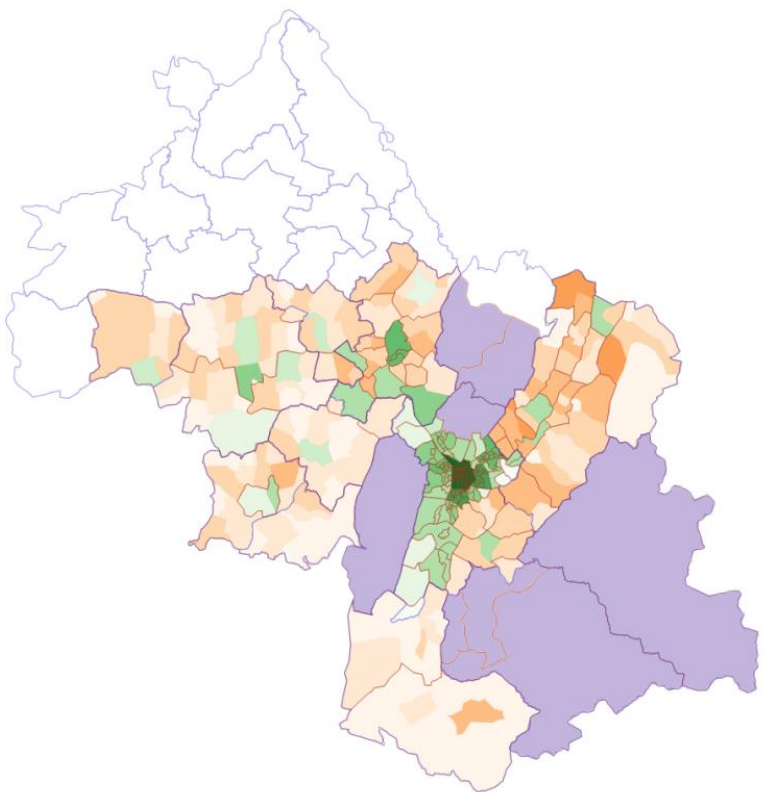
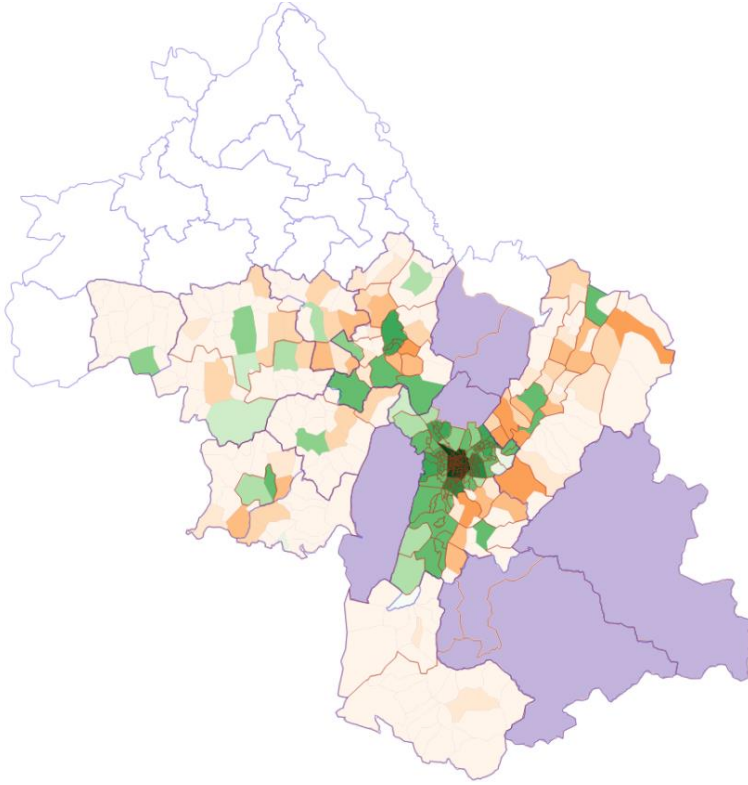


Figura 16: Scenario "Centralizzazione".



3.5.1 Definizione dei parametri $Rmin_j^n$ e $Rmax_j^n$ in Tranus

L'algoritmo del software *Tranus* prevede, seguendo i principi propri dei modelli input/output, che la produzione di un generico settore n in una generica zona j possa essere limitata attraverso la definizione di una soglia minima o massima di capacità di produzione del settore stesso. Tali soglie sono rappresentate dai parametri $Rmin_j^n$ e $Rmax_j^n$, definiti per il generico settore n e per la generica zona j del modello. Se dopo l'esecuzione del modello la produzione assegnata ad una generica zona j rientra nei limiti stabiliti, il prezzo di un'unità di produzione di tale settore sarà uguale al costo di produzione, più il suo cosiddetto il valore aggiunto. Se tuttavia la produzione dovesse risultare al di sopra della soglia massima o al di sotto della soglia minima di produzione, allora il prezzo sarà determinato dall'equilibrio tra domanda e offerta. Alla fine di ogni iterazione, il modello controlla tali restrizioni e regola di conseguenza i prezzi; in particolare il prezzo dell'unità di produzione del generico settore n viene aumentato se la restrizione massima viene violata e viene ridotta se la restrizione minima viene violata.

Queste variazioni di prezzo influenzano la distribuzione spaziale della produzione nelle iterazioni successive, fino al raggiungimento di un equilibrio. I prezzi sono regolati come segue (Modelistica, 2012):

$$p_j^{n,t} = \begin{cases} < p_j^{n,t-1}, (X_j^{*n} + X_j^n) < Rmin_j^n \\ > p_j^{n,t-1}, (X_j^{*n} + X_j^n) > Rmax_j^n \\ = c_j^{n,t}, Rmin_j^n = 0, Rmax_j^n = \infty \end{cases} \quad [1]$$

- $p_j^{n,t-1}$: prezzo dell'unità di produzione del settore n nella zona j nell'iterazione precedente $t-1$;
- $p_j^{n,t}$: prezzo dell'unità di produzione del settore n nella zona j nell'iterazione corrente t ;
- $Rmin_j^n$ e $Rmax_j^n$: limite minimo e massimo alla produzione del settore n nella zona j ;
- $c_j^{n,t}$: costo di produzione nel settore n nella zona j nella iterazione corrente t ;
- $X_j^{*n} + X_j^n$: produzione totale composta dalla produzione esogena + la produzione indotta del generico settore n .

Per completare l'implementazione degli scenari di simulazione per il modello *Tranus_Grenoble*, dopo aver importato nel software *Tranus* i dati relativi agli obiettivi di nuova urbanizzazione dello SCOTRUG,

adattati alle ipotesi di ciascuno dei tre scenari di simulazione, saranno dunque definiti i parametri $Rmin_j^n$ e $Rmax_j^n$, per ogni zona j del modello *Tranus_Grenoble*, e per ogni settore (tipologia) residenziale n (alloggi individuali e collettivi).

Nel caso specifico del presente lavoro di scenarizzazione per il modello *Tranus_Grenoble*, per un settore di tipo residenziale, attraverso i parametri $Rmin_j^n$ e $Rmax_j^n$ si definiscono la quantità minima e la quantità massima di superficie abitativa che può essere "consumata" da tutti i settori "consumatori" precedentemente definiti (le categorie di popolazione e/o i settori di attività). Di conseguenza i parametri $Rmin_j^n$ e $Rmax_j^n$ permetteranno di riprodurre nel software *Tranus* quei limiti strategici definiti dallo SCOTRUG in riferimento alle nuove unità residenziali da costruire entro il 2022, per ogni comune dell'area di studio ("au moins": obiettivo minimo; "au plus": obiettivo massimo); consentendo di adattare gli scenari di simulazione il più possibile alle ipotesi di nuova urbanizzazione previste dalla SCOTRUG. I parametri $Rmin_j^n$ e $Rmax_j^n$ saranno impostati pertanto, per ciascun scenario, nel modo seguente:

- quando una zona del modello *Tranus_Grenoble* risulta caratterizzata da un obiettivo minimo di costruzione di nuove abitazioni residenziali, una volta convertito tale valore in metri quadrati di superficie, esso rappresenterà il parametro $Rmin_j^n$ (soglia minima di capacità di produzione) per il settore di tipo residenziale n nella zona j del modello. Ciò implica che in quella particolare zona del modello, una quantità di superficie residenziale riferita al settore n , di quantità superiore o uguale a quella definita dal parametro $Rmin_j^n$, sarà sicuramente consumata;
- quando una zona del modello *Tranus_Grenoble* risulta caratterizzata da un obiettivo massimo di costruzione di nuove abitazioni residenziali, una volta convertito tale valore in metri quadrati di superficie, esso rappresenterà il parametro $Rmax_j^n$ (soglia massima di capacità di produzione) per il settore di tipo residenziale n nella zona j del modello. Ciò implica che in quella particolare zona del modello, una quantità di superficie residenziale riferita al settore n , inferiore o uguale alla quantità definita dal parametro $Rmax_j^n$, sarà sicuramente consumata.

Per un funzionamento corretto e più realistico del modello *Tranus_Grenoble*, risulta inoltre conveniente impostare anche un ulteriore valore, definito " $Rmax_j^n$ artificiale" per le zone caratterizzate da un obiettivo SCOTRUG minimo e " $Rmin_j^n$ artificiale" per le zone caratterizzate da un obiettivo SCOTRUG massimo; in modo da evitare che il modello simuli dei livelli di produzione irrealistici (ciò si potrebbe verificare nelle zone che comportano dei livelli di attrattività estremamente bassi o alti e dunque che potrebbero perturbare i risultati della simulazione). Questi limiti "artificiali" di consumo della superficie residenziale disponibile sono definiti per ciascuna zona del modello *Tranus_Grenoble*, aggiungendo (per le zone *Tranus_Grenoble* con obiettivo SCOTRUG minimo) o sottraendo (per le zone *Tranus_Grenoble* con obiettivo SCOTRUG massimo), un valore di superficie residenziale pari al 20% della superficie residenziale disponibile e indicata negli obiettivi SCOTRUG ai limiti già definiti ($Rmin_j^n$ e $Rmax_j^n$) per ciascun settore residenziale e zona del modello.

4. CONCLUSIONE

Il lavoro di scenarizzazione illustrato in questo articolo rappresenta una fase specifica dell'intero processo di modellizzazione attuato per l'implementazione del modello di simulazione integrata di uso del suolo e dei trasporti *Tranus_Grenoble*. Il progetto di ricerca in cui si iscrive tale lavoro si propone di fornire uno strumento operativo e di supporto agli attori della pianificazione urbana e dei trasporti e particolare attenzione è stata posta nel lavoro di scenarizzazione, con l'obiettivo di trasferire nel modello le ipotesi di sviluppo urbano futuro contenute nel documento di pianificazione dello SCOT per la Regione Urbana di Grenoble. In particolare il coinvolgimento diretto dei tecnici dell'AURG nel lavoro di scenarizzazione per il modello *Tranus_Grenoble* rappresenta una novità e un contributo importante nell'ottica di aumentare la comprensione e la diffusione della tecnica di modellizzazione integrata di uso del suolo e dei trasporti e di testare le potenzialità operative di tali strumenti.

Gli specialisti dell'AURG si sono prestati ad un complesso e impegnativo esercizio di riflessione, dapprima per la comprensione del funzionamento del software *Tranus* e della struttura del modello e in

seguito per la concezione delle ipotesi alla base degli scenari. I tre scenari di simulazione definiti soddisfano sia gli interessi dell'AURG di sperimentare tecniche innovative di monitoraggio e di verifica delle politiche di sviluppo urbano e dei trasporti, previste dal documento di pianificazione *SCOTRUG*, sia gli obiettivi più prettamente scientifici e di ricerca di testare la validità e l'operazionalità del modello.

Si tratta di un'esperienza abbastanza originale nel panorama della modellazione di uso del suolo e dei trasporti e la cooperazione stabilita in questo senso tra l'AURG e l'INRIA rappresenta di sicuro una novità, almeno nel contesto francese. Questa collaborazione ha tuttavia comportato diverse difficoltà: di comprensione da parte dei tecnici dell'AURG dei principi matematici alla base dell'algoritmo del software *Tranus*; di accettazione della modellazione di uso del suolo e dei trasporti, considerata troppo complessa, complicata da implementare e da validare. Inoltre a fronte di una prassi oramai consolidata di modellizzazione dei sistemi di trasporti da parte dell'AURG, si è riscontrata una minore predisposizione verso le tecniche di modellizzazione delle dinamiche di uso del suolo. In ogni caso tale esperienza rivela l'importanza di sviluppare un processo di scambio e di collaborazione continuo e diretto tra la ricerca e gli attori della pianificazione urbana e dei trasporti. Un rapporto che è utile ed essenziale in entrambe le direzioni, perché come in questo caso permette al modellizzatore di comprendere al meglio le potenzialità e i limiti del processo di modellizzazione, e fornisce agli attori della pianificazione un supporto alla riflessione e alla comprensione delle dinamiche di interazione tra uso del suolo e trasporti, nonché un supporto al processo decisionale.

5. BIBLIOGRAFIA

- AURG, Agence d'urbanisme de la région grenobloise. 2012. L'essentiel du projet de SCoT de la Région urbaine de Grenoble. Grenoble : s.n., 2012.
- AURG, Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise. 2012. Rapport de présentation - Suivi de la mise en œuvre du SCoT de la Région Grenobloise. Grenoble : s.n., 2012.
- Batty, M. (2016). Complexity in Land Use - Transport Modelling. Modelling Word 2016. London: Modelling Word.
- de la Barra, T. 1989. Integrated land use and transport modeling. Cambridge : Cambridge University Press, 1989.
- DETR, Department of the Environment, Transport and the Regions. 1999. Review of landuse/transport interaction models. London : s.n., 1999.
- Johnston, R.A. et de la Barra, T. 2000. Comprehensive regional modeling for long-range planning: linking integrated urban models and geographic information systems. Transportation Research. 2000, Vol. 24, part A, 125-136.
- Leontief, W. 1941. The Structure on the American Economy 1919-1939. New York : Oxford University Press, 1941.
- Lowry, L.S. 1964. A Model of Metropolis. Santa Monica : Rand Corporation, 1964.
- MAE, Ministère des Affaires Étrangères. 2006. La politique d'aménagement et de développement durable du territoire en France, Direction générale de la coopération internationale et du développement. Paris.
- McFadden, D. 1973. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. Frontiers in Econometrics. New York : Academinc Press, 1973.
- MLHD, Ministère du Logement. 2016. Le schéma de cohérence territoriale (SCoT). Un projet stratégique partagé pour l'aménagement durable d'un territoire. Paris : s.n., 2016.
- Modelistica. 2012. Mathematical and Algorithmic Description of the TRANUS system. Caracas : s.n., 2012.
- Nguyen-Luong, D. 2012. Les modèles transport-urbanisme: de la théorie à la pratique. Transports. 2012, Vol. 474, p. 14-19.
- Wegener, M. 2010. Overview of land-use transport models. . Transport Geography and Spatial - Handbook in Transport. 2010, Vol. 5, 9.

Wilson, A.G. 1997. Land-use/Transport Interaction Models. Past and Future. *Journal of Transport Economics and Policy*. 1997, Vol. 32, part 1.

ABSTRACT

This article describes the methodology adopted for the implementation of simulation scenarios for an Land Use and Transport Integrated model, referring to the territory of the Grenoble Urban Region, in the Isere Department in France. The assumptions behind these simulation scenarios were derived from the assumptions of residential and transportation supply evolution, at 2030, contained in the Grenoble Urban Region's *Scheme of Territorial Coherence* (SCOT). The SCOT is a strategic urban planning tool for the medium and long term, defining for a group of municipalities an integrated and coherent urban project, in terms of economic development, spatial and environmental planning, housing, mobility and services, and land use. Simulation scenarios serve to feed the *Tranus_Grenoble* model implemented in collaboration with the Urban Planning Agency of the Grenoble Urban Region (AURG), with the aim of providing an operational tool that supports the territorial analysis and the planning activity and in particular with the function of simulating the impact of policies envisaged in the SCOT and verifying its effectiveness. The article outlines the methodology behind the implementation of simulation scenarios, the adaptation of the hypotheses contained in the Plan to the model structure and the process of treating and consolidating different databases, prospective studies, socio-economic and econometric parameters. The article illustrates the basic structure of the *Tranus_Grenoble* model, the features and objectives of the SCOT for the Urban Region of Grenoble, the structure of the base scenario of the model and the methodology for implementing the simulation scenarios.