

Consiglio Nazionale delle Ricerche

**ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE**

PISA



**Metodologie GIS in campo socio-economico:
una applicazione ai consumi energetici
della Toscana.**

B. Biagi, L. Nuti

Nota Interna B04-17

Maggio 1993

INTRODUZIONE

Questo lavoro nasce da una collaborazione in corso tra l'Istituto Regionale per la Programmazione Economica della Toscana di Firenze e l'Istituto di Elaborazione dell'Informazione di Pisa avente per oggetto lo studio delle possibili applicazioni dei Geographic Information Systems in campo socio-economico.

Alcuni ricercatori dell'IRPET già da qualche tempo si sono mostrati sensibili all'introduzione di nuove metodologie e tecnologie per l'analisi, la elaborazione e la sintesi di dati socioeconomici che, per loro natura, sono quasi sempre georeferenziabili o comunque riferibili ad entità geografiche variamente distribuite sul territorio; le metodologie di lavoro associate ai GIS si presentano quindi come buone opportunità per nuove ricerche e nuove applicazioni.

È da notare come in questo contesto sia forse più opportuno parlare di "metodologie di lavoro" che di puri e semplici "strumenti di lavoro"; è infatti rilevante riconoscere l'importanza dei GIS non come semplici strumenti di visualizzazione in forma cartografica dei risultati ottenuti con procedure scollegate, ma come veri e propri ambienti di analisi, di sviluppo e di elaborazione di risultati che verranno pur presentati e sintetizzati in una forma cartografica, che rappresenta però solo la parte emergente dell'iceberg che costituisce il lavoro globale.

Questo lavoro vuole rispondere alla domanda dei ricercatori dell'IRPET, che, in sintesi, possono essere ricondotte alle seguenti: in che modo le metodologie GIS possono essere introdotte nel nostro lavoro, in che cosa possono aiutarci, quali potenzialità offrono?

Uno dei possibili modi di rispondere è quello di scegliere il settore giudicato interessante dai futuri potenziali utenti e "trattabile" da chi si occupa di GIS, e descrivere, passo per passo, tutte le elaborazioni ed i risultati che possono essere ottenuti cercando di soddisfare le richieste degli utenti.

Questo argomento è ciò che il presente lavoro descrive prendendo come esempio una applicazione molto semplice, e per diversi aspetti limitata, relativamente ai dati sui consumi energetici rilevati da due fonti diverse al livello comunale e provinciale per la Toscana.

Nelle applicazioni che vengono sviluppate per la prima volta, una delle maggiori difficoltà è rappresentata dalla adeguatezza e completezza dei dati su cui lavorare. L'applicazione prototipo qui descritta risente di questa difficoltà ed in effetti la parte "geografica" dei dati è molto limitata. Riteniamo tuttavia che questa costituisca un utile esempio per analizzare le potenzialità della tecnologia GIS e ci auguriamo che questo studio porti ad ulteriori e più interessanti approfondimenti.

1. METODOLOGIE GIS IN CAMPO SOCIOECONOMICO

I campi di applicabilità dei GIS sono molti e molto differenziati tra loro; possiamo affermare che tutti i campi in cui le variabili di interesse sono georeferenziabili possono trovare facilitazioni e nuove metodologie di lavoro nei GIS.

Le vaste possibilità fornite dagli strumenti di analisi spaziale permettono di trovare risposte a numerose domande e simulare scenari altrimenti impossibili senza l'uso di un GIS. L'aspetto di questa metodologia che risulta più evidente ad un utente è la rappresentazione grafica di un qualsiasi risultato di analisi, che permette soprattutto un'immediata percezione della situazione esaminata semplificando la natura dei risultati.

In generale con l'uso di un GIS l'informazione su una certa zona di interesse viene strettamente legata alla topografia della zona, fornendo come risultato finale una visione grafica del valore dell'informazione sul territorio; in altre parole con un GIS è possibile produrre mappe che permettono di visualizzare, usando la base topografica della zona di interesse, la distribuzione di una proprietà, non necessariamente geografica, della zona stessa.

Quando di una proprietà interessa conoscere la distribuzione e variabilità in una realtà territoriale, la rappresentazione grafica del risultato permette un'immediata correlazione tra il valore e la sua localizzazione.

Gli strumenti più efficaci per la rappresentazione grafica di valori statistici sono le mappe tematiche; la mappa tematica viene rappresentata tramite una mappa choropleth (fig. 1.1), che permette la visualizzazione di variazioni significative della distribuzione spaziale di una proprietà, suddividendo la base topografica della zona in poligoni all'interno dei quali il valore della proprietà

si mantiene in un intervallo stabilito tramite tematizzazione ed una opportuna legenda.

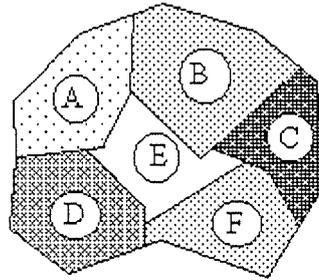


Fig. 1.1 Un esempio di mappa choropleth; in essa si distinguono aree poligonali dove il valore di una certa proprietà spaziale rimane costante. Essa è utile per la rappresentazione di mappe tematiche sia che la proprietà rappresentata sia qualitativa che quantitativa.

La creazione delle mappe tematiche è una tra le funzionalità che può offrire un GIS integrando il risultato grafico e l'analisi spaziale; la parte non spaziale dei dati, che è la base per il processo di analisi, viene elaborata per determinare i valori che devono essere visualizzati dopo aver subito una classificazione ed essere stati collegati alla parte spaziale dell'informazione.

L'uso dei GIS per la creazione di mappe tematiche ha il vantaggio dell'automazione di questo processo, ma soprattutto ha il vantaggio di un'analisi effettuata su tutte le osservazioni originali e disponibili sul problema in esame. Questo è conseguenza del fatto che tutte le osservazioni sono inserite nel GIS direttamente senza essere ridotte con processi di classificazione; la classificazione nei GIS avviene dopo l'analisi e per tale motivo ogni volta potrà essere scelta quella migliore e più appropriata all'obiettivo in questione.

I risultati di un'analisi vengono classificati in accordo a proprietà discriminanti degli stessi. La metodologia di classificazione assume che attraverso un'appropriata concezione dell'oggetto di studio (il territorio, le stime di un'indagine, ecc.) possano essere riconosciuti dei ranges che serviranno come veicoli per trasmettere informazione. Questo procedimento dà migliori risultati quanto più sono grandi le correlazioni tra le classi definite e l'informazione di cui l'utente ha bisogno.

Una ulteriore peculiarità dei GIS è quella che essi permettono di effettuare analisi usando sia i valori degli attributi associati alle entità grafiche sia i valori dei parametri geografici (posizioni, lunghezze, superfici, quote, ecc.) e topologici (posizioni relative, distanze, contenimento, ecc.) delle stesse. E' evidente quindi come i GIS non costituiscano solo un puro strumento di restituzione grafica di risultati, ma veri e propri strumenti di analisi sofisticata. Il campo socio economico è uno tra quelli in cui le metodologie GIS possono offrire una nuova concezione dei processi di studio e di analisi dei risultati, sfruttando pienamente sia il processo di elaborazione per la produzione di statistiche e stime sia il risultato grafico, il quale si sostituisce alle tradizionali liste di valori.

2. CONSUMI ENERGETICI E DATI DISPONIBILI

L'applicazione descritta in seguito fa parte di una ricerca sul sistema energetico della Toscana, la quale prevede la ricostruzione di un quadro stimato dei consumi energetici industriali, in relazione alla disponibilità ed al tipo di fonti energetiche impiegate per la copertura del fabbisogno, ed in accordo ad un'appropriata classificazione di usi e ad elementi di politica e programmazione energetica; tale ricerca prevede inoltre che siano confrontati e studiati i dati dalle diverse fonti di provenienza e siano compiute statistiche che permettano uno studio più approfondito del sistema energetico globale regionale allontanandosi dal risultato qualitativo del consumo finale vero e proprio ma incentrandosi sulla dinamica di parametri quali il tipo di industrializzazione dei vari livelli di aggregazione territoriale, e i criteri di aggregazione e disaggregazione dei dati con denominatori diversi.

Per i consumi energetici sono stati presi in esame i consumi industriali delle fonti energetiche: carboni, ligniti, coke, olio combustibile, gasolio, distillati, gpl, metano, altri tipi di gas ed i consumi elettrici, tutti disaggregati in ventitre settori industriali.

Le rilevazioni attualmente disponibili su tali consumi energetici provengono dall'Ispettorato del Lavoro, dall'ENEL e dalla SNAM. L'Ispettorato del Lavoro ha rilevato i consumi delle nove fonti energetiche citate e dell'energia elettrica per ciascun settore industriale, con riferimento ad unità locali

industriali con almeno cinquanta addetti ed al livello di aggregazione territoriale provinciale.

L'ENEL fornisce rilevazioni di consumi elettrici, sempre per ciascun settore industriale, con riferimento al numero totale di unità locali presenti in un settore ed al livello di disaggregazione comunale.

Le rilevazioni della SNAM non sono utili per la ricostruzione di un quadro stimato dei consumi energetici nell'industria, poiché il loro livello di disaggregazione è quello delle reti cittadine e non è possibile ricostruire per essi una classificazione che abbia come temi i settori industriali ed il livello di aggregazione territoriale della provincia o del comune.

I dati che ci sono stati forniti sono i consumi ENEL e quelli dell'Ispettorato del Lavoro; occorre tenere presente che i dati hanno subito delle trasformazioni rispetto alle unità di misura e diverse operazioni di editing con passaggio tra diversi supporti di memorizzazione, per cui è altamente probabile la presenza di errori e perdite. Occorre oltretutto notare la non completa omogeneità di questi ultimi, forse imputabile a condizioni ambientali, economiche (i conguagli ENEL sono registrati come consumi negativi) e industriali e proprio per tale motivo lo studio di queste caratteristiche esula dagli obiettivi dello studio; occorre premettere quindi che alla base di tutta la discussione successiva c'è l'assunzione che i dati usati siano privi di errori.

3. OBIETTIVI DELL'APPLICAZIONE

L'attuale metodologia di lavoro degli esperti del settore è essenzialmente basata su una elaborazione di tipo tabellare, con l'applicazione di calcoli e verifiche statistiche che risultano talvolta di non immediata interpretazione ed i cui risultati sono spesso difficili da sintetizzare.

Il riferimento geografico relativo a tali informazioni è quasi completamente implicito ed associato solo come attributo dei dati stessi.

Questa applicazione, fatte le debite premesse sulla qualità dei dati di cui al paragrafo precedente, si pone l'obiettivo di verificare una diversa metodologia di lavoro e di metterne in luce i punti cardine. Tale metodologia fa uso di strumenti innovativi nel settore, quali appunto i GIS, e ne sfrutta una delle caratteristiche salienti, cioè l'integrazione in un unico sistema

informativo della parte geografica, facilmente visualizzabile e che funge da supporto per la sintesi dei risultati, e della parte di attributi e di dati numerici, facilmente elaborabili attraverso la componente di database relazionale del GIS stesso.

I punti cardine dell'applicazione possono essere individuati come altrettante operazioni che un utente ipotetico di questo nuovo sistema può volere effettuare e dopo averle elencate, analizzeremo come tali operazioni possono essere portate a termine usando un GIS:

- *Analisi di qualità* (verifica di omogeneità e dei ranges dei valori, calcolo di parametri statistici, verifiche di congruenza tra dati da diverse fonti, aggregazione secondo vari criteri).
- *Analisi della distribuzione spaziale* (analisi delle densità di informazioni, aggregazione spaziale, classificazione spaziale delle fonti, interpolazione spaziale).
- *Analisi temporale* (calcolo e rappresentazione di trends storici e statistici, analisi spaziale delle evoluzioni temporali e dei trends).
- *Aggregazione / Disaggregazione o Ridistribuzione* (spalmatura dei dati a diverse aggregazioni con eventuale applicazione di coefficienti e pesi statistici, estrapolazione spaziale, correlazione spaziale).
- *Analisi "What-if" e generazione di scenari* (simulazione di effetti sulle situazioni future dovute alla variazione spazio-temporale di singoli o gruppi di dati).

Tra le operazioni possibili sopra elencate alcune implicano solo un lavoro di elaborazione da parte del sistema di gestione relazionale del GIS, altre invece, oltre alla parte di analisi, possono sfruttare la potenzialità innovativa di questo strumento per correlare proprietà non spaziali alla superficie geografica o topografica alla quale sono riferite.

Per visualizzare le stime dei consumi delle fonti energetiche e di tutte le altre variabili prese in esame, ricostruite con il processo di analisi, esse devono essere tematizzate per la definizione di mappe choropleth di facile comprensione. La proprietà in questione è di tipo qualitativo ed il modo in cui scegliere gli intervalli di tematizzazione è molto importante per l'impressione visuale trasmessa dalla mappa .

3.1 Analisi di qualità

Questo tipo di operazioni sui dati in possesso possono mettere in evidenza caratteristiche implicite degli stessi in relazione al confronto tra rilevazioni di fonti informative diverse e con diversi criteri di aggregazione.

In generale la maggior parte delle valutazioni ottenibili applicando i termini relativi alle operazioni in esame sono correlati ad una aggregazione territoriale e per tale motivo rappresentabili graficamente.

Lavorando essenzialmente sui dati ENEL, si può calcolare la densità dei consumi elettrici comunali sulla base di una riaggregazione rispetto ad un consumo non settorizzato per tipologie industriali. Questo significa che indicando con $k = 1, \dots, 9$ le diverse province della Toscana, con $c_k = 1, \dots, n(k)$ i comuni della provincia k , con $i = 1, \dots, 23$ settori industriali, il consumo $ENEL_{c_k k i}$ è il consumo elettrico del comune c_k nella provincia k e settore industriale i .

Calcoliamo il consumo elettrico totale comunale come

$$\sum_{i=1}^{23} ENEL_{c_k k i}$$

al variare di c_k e k ; tematizzando i risultati possiamo rappresentare la distribuzione del consumo elettrico industriale sui comuni della regione.

Sono possibili aggregazioni dei dati con altri criteri in grado di fornire altre informazioni sulla struttura del sistema energetico della regione.

Caratteristiche particolari dei consumi energetici industriali possono essere evidenziate con un confronto dei dati ottenuti dalle due diverse fonti di informazioni. I dati confrontabili sono i consumi elettrici provinciali, in ragione delle caratteristiche delle unità locali a cui entrambe le fonti si riferiscono ed è ragionevole supporre che il consumo elettrico indicato dall'ENEL sia maggiore o al più uguale al rispettivo consumo elettrico indicato dall'Ispettorato del Lavoro per ciascuna provincia e settore industriale.

Aggregando i settori industriali di una stessa provincia sono stati calcolati, sia per i rilevamenti ENEL che ISP.LAV, i totali dei consumi elettrici industriali. Il calcolo del rapporto tra tali consumi in ciascuna provincia, in particolare il rapporto tra il totale ENEL e il totale ISP.LAV elettrico permette di

verificare, con due sole classi di tematizzazione, se all'interno di ogni provincia l'ipotesi scaturita dalle caratteristiche industriali a cui i dati sono riferiti è soddisfatta. Se alcuni dei rapporti calcolati sono minori di uno, significa che nelle rispettive province i consumi elettrici relativi alle sole unità locali con almeno cinquanta addetti sono maggiori dei consumi elettrici del totale delle unità locali. Questa anomalia può essere spiegata con la presenza di autoproduzione di energia elettrica nelle grandi unità locali, e quindi il risultato grafico così raggiunto permette di individuare in quali province possa essere possibile che questo accada.

L'aggregazione considerata è puramente esemplificativa poiché il risultato può essere più dettagliato illustrando quale, o quali settori industriali di una provincia presentano ipotesi di autoproduzione.

3.2 Analisi della distribuzione spaziale

Con analisi della distribuzione spaziale si intendono tutte quelle operazioni che permettono di produrre dai dati a disposizione ulteriori stime sulla distribuzione delle caratteristiche della zona in esame rispetto al problema considerato.

Come esempio di questo tipo di operazioni può essere fatta un'indagine sulle caratteristiche del sistema produttivo toscano, considerando come parametri la dimensione delle unità locali industriali e la varietà delle tipologie di unità locali.

Nel primo caso, con l'uso dei dati dell'ISP.LAV, si può mettere in risalto, a livello di aggregazione provinciale, la densità di unità locali con almeno cinquanta addetti, aggregando settori industriali di una stessa provincia in relazione a questo parametro.

La tipologia industriale a livello di disaggregazione comunale, cioè il numero di settori industriali diversi, permette di mettere in risalto la distribuzione delle attività produttive rispetto ad un comune e quindi la sua caratteristica di specificità o varietà nella tipologia industriale rispetto al sistema produttivo.

La stima di questa proprietà può essere ottenuta individuando il numero di settori diversi per ogni comune e tematizzando questo valore con opportune classi in modo da ben distinguere i comuni con tipologia industriale varia rispetto a quelli più omogenei.

3.3 Analisi temporale

Ai fini di una migliore comprensione del sistema energetico della regione può essere utile analizzare come sono evoluti negli anni i consumi delle varie fonti energetiche.

Questo tipo di informazioni può permettere di individuare se l'uso di certe fonti energetiche è diminuito, aumentato o radicalmente sostituito.

Il processo di metanizzazione del territorio regionale può avere senz'altro portato a evoluzioni nelle zone dove è stato introdotto, visto il suo basso prezzo rispetto alle tradizionali fonti energetiche.

Avendo a disposizione i dati dell'ISP.LAV dal 1984 al 1991, un esempio di calcolo e rappresentazione di trends storici statistici può essere ottenuto calcolando per ciascuna provincia il rapporto tra il consumo termico totale effettuato da unità locali con almeno cinquanta addetti nel 1991 e nel 1984.

Indichiamo con CAL_{kih} , $k = 1, \dots, 9$, $i = 1, \dots, 23$, $h = 1, \dots, 9$, il prodotto del consumo in quintali o metri cubi della provincia k nel settore i della fonte energetica h moltiplicato per il potere calorifero inferiore. Calcolando per ogni $k = 1, \dots, 9$

$$\sum_{i=1}^{23} \sum_{h=1}^9 CAL_{kih}$$

si ottiene il consumo totale in chilowattora termici (kwth) di ogni provincia. Calcolato il consumo totale per ogni provincia sia per l'anno 1991 che 1984, si procede calcolando i loro rapporti ed alla successiva tematizzazione che indicherà com'è variato il consumo termico totale di unità locali con almeno cinquanta addetti nelle province. Il risultato ottenuto può essere messo in relazione al numero di unità locali con la caratteristica sopra citata presenti in ogni provincia nei due anni considerati; la correlazione nasce dal fatto che un fattore che può determinare aumento o diminuzione di consumo è l'aumento o diminuzione di unità locali, oltre ad una variazione delle dimensioni delle unità locali presenti e quindi della produzione. Calcolando, analogamente al consumo termico totale, il rapporto tra le unità locali con almeno cinquanta addetti presenti nel 1991 e quelle presenti nel 1984, possiamo osservare la

variazione industriale in ogni provincia; combinando infine i due layers tematici, quello relativo ai consumi e quello relativo alle unità locali, può essere verificato dove la variazione di consumo ha come fattore una variazione di unità industriali.

Un'analisi più specifica di questi trends è possibile calcolando la variabilità di consumo per ciascuna fonte, ossia senza la trasformazione in chilowattora termici dei consumi, cioè calcolando il consumo totale per ciascuna fonte e aggregando i settori industriali in entrambi gli anni considerati. A questo punto non si può procedere con il semplice rapporto tra ciascuna fonte in ogni provincia, ma occorre tenere conto che ci possono essere state sostituzioni di fonti e quindi un'attenta analisi dei valori da confrontare deve riprodurre anche questo tipo di informazioni, ad esempio indicando con -1 una fonte sostituita, cioè concorrente all'apporto termico del 1984 ma non a quello del 1991 e con -2 una fonte introdotta, cioè non presente nell'apporto termico del 1984.

Un'analisi di questo tipo permette quindi di rappresentare in forma grafica l'evoluzione di alcuni parametri del sistema energetico in relazione ai cambiamenti che negli anni possono essere fatti nei rifornimenti di fonti energetiche e nella strutturazione industriale.

3.4 Aggregazione / Disaggregazione o Ridistribuzione

Un esempio di questo tipo di operazioni sui dati disponibili può essere la stima dei consumi finali di energia per ciascuna fonte e settore industriale, spinta fino a livello di disaggregazione territoriale del comune. Questo significa "spalmare", con opportuni coefficienti di stima i consumi totali sia al livello di aggregazione provinciale che disaggregando fino ai comuni (tenere presente che i consumi conosciuti per ciascuna fonte energetica sono quelli forniti dall'Ispettorato del Lavoro).

Indicando con $k = 1, \dots, 9$ le diverse province della Toscana, $c_k = 1, \dots, n(k)$ i comuni della provincia k , $i = 1, \dots, 23$ i settori industriali e $h = 1, \dots, 9$ le fonti energetiche, si tratta di calcolare $consumo_{kih}$ e $consumo_{c_kih}$ al variare degli indici, che indicano rispettivamente il consumo della provincia k nel settore industriale i della fonte energetica h e, il consumo del comune c_k della provincia k rispetto al settore i della fonte h .

Il metodo più semplice per ricostruire le stime dei consumi energetici nelle unità locali è quello di adottare per ogni fonte energetica e ciascun settore industriale, in ogni provincia, il rapporto che esiste tra il valore dell'ENEL in quel settore ed i corrispondenti consumi elettrici secondo l'Ispettorato del Lavoro. In questo modo, per ogni settore industriale e per ogni provincia, il rapporto di proporzionalità tra i consumi elettrici è il coefficiente con cui pesare i consumi di ciascuna fonte di unità locali con almeno cinquanta addetti ed ottenere una stima del consumo di ogni fonte energetica in relazione al totale delle unità locali, in ciascun settore industriale nella provincia. I valori trovati vengono poi proiettati ai comuni attraverso il coefficiente di proporzionalità tra il consumo ENEL nel comune e quello relativo alla provincia di appartenenza (sempre in relazione al settore industriale).

L'applicazione di questo metodo per determinare i coefficienti di stima implica presupporre che i consumi di energia termica siano direttamente proporzionali ai consumi elettrici, qualunque siano le dimensioni e le altre caratteristiche dell'impresa e qualunque sia la fonte energetica impiegata.

L'ipotesi si rivela sufficientemente fondata di conseguenza ad un'analisi dell'indicatore energetico chiamato *indice elettrico* e definito come il rapporto tra l'energia termica e l'energia elettrica impiegate in una produzione (calcolato come il rapporto tra kwht e kwhe); è stato dimostrato infatti che tale rapporto oscilla effettivamente con variazioni contenute intorno ad un valore medio e varia significativamente nel tempo nel medio-lungo periodo. L'applicazione dell'indice elettrico per la stima dei consumi energetici conduce allo stesso risultato ottenibile usando la proporzionalità dei consumi elettrici, però è preferibile rispetto a quest'ultima in quanto le ipotesi fatte hanno un fondamento teorico.

Le ipotesi sottostanti alla metodologia dell'indice elettrico sono due:

- la prima è che il rapporto tra energia termica ed energia elettrica sia sufficientemente stabile;
- la seconda è che in un periodo di tempo stabilito (convenzionalmente un anno), l'apporto delle diverse fonti al consumo energetico globale rimanga immutato e si possa così proiettare il campione sull'intero settore.

Entrambe le ipotesi sono più plausibili in ragione di quanto è spinta la disaggregazione tra settori industriali e di quanto è forte l'omogeneità dei processi produttivi esaminati.

3.4.1 Calcolo ed uso dell'indice elettrico

I dati con cui calcolare l'indice elettrico sono quelli dell'Ispettorato del Lavoro che quindi costituiscono il campione per ciascuna provincia e settore industriale.

La relazione per il calcolo dell'indice elettrico (IE) in un settore industriale e provincia è:

$$IE = \frac{\sum [(Q.li \text{ o mc}) * PCI] * 4,186 / 3600}{\text{Consumo di energia elettrica}}$$

dove PCI indica il potere calorifero inferiore, che permette di passare da quintali o metri cubi, in relazione alla fonte energetica considerata, a chilocalorie e 4,186/3600 è il fattore di conversione per passare a chilowattora termici.

Indichiamo con:

IE_{ki} , $k = 1, \dots, 9$, $i = 1, \dots, 23$, l'indice elettrico della provincia k nel settore i .

CAL_{kih} , $k = 1, \dots, 9$, $i = 1, \dots, 23$, $h = 1, \dots, 9$, il prodotto del consumo in quintali o metri cubi della provincia k nel settore i della fonte h moltiplicato per il relativo potere calorifero inferiore.

$EL.ISP_{ki}$, $k = 1, \dots, 9$, $i = 1, \dots, 23$, il consumo elettrico della provincia k nel settore i secondo l'Ispettorato del Lavoro.

L'indice elettrico al variare di k ed i è

$$IE_{ki} = \frac{\sum_{h=1}^9 CAL_{kih} * 4,186 / 3600}{EL.ISP_{ki}}$$

Indicando inoltre con IES_{kih} , $k = 1, \dots, 9$, $i = 1, \dots, 23$, $h = 1, \dots, 9$, l'indice elettrico specifico della fonte energetica h nella provincia k e settore i , abbiamo che:

$$IES_{kih} = \frac{CAL_{kih} * 4,186 / 3600}{EL.ISP_{ki}}$$

quindi

$$IE_{ki} = \sum_{h=1}^9 IES_{kih}$$

L'indice elettrico specifico di ciascuna fonte energetica esprime l'equivalente del peso che quella fonte energetica ricopre (in funzione dei consumi elettrici rilevati) all'interno dell'energia termica complessivamente impiegata nel processo produttivo. L' IES_{kih} al variare di k , i , h consente di stimare le quantità totali di ciascuna fonte energetica in ciascun settore industriale e in tutte le province e comuni, previa riconversione delle unità di misura, se usato come coefficiente di proporzionalità dei consumi ENEL relativi. In altre parole indicati con $ENEL_{ki}$ ed $ENEL_{c_kki}$, $k = 1, \dots, 9$, $i = 1, \dots, 23$ e $c_k = 1, \dots, n(k)$, i consumi ENEL della provincia e dei comuni, i consumi delle altre fonti sono stimati come:

$$\text{consumo}_{kih} = (ENEL_{ki} * IES_{kih} * 3600) / (4,186 * PCI) \quad \text{Q.li o mc}$$

$$\text{consumo}_{c_kkih} = (ENEL_{c_kki} * IES_{kih} * 3600) / (4,186 * PCI) \quad \text{Q.li o mc}$$

I dati sui consumi forniti dall'Ispettorato del Lavoro sono relativi ad unità locali con almeno cinquanta addetti; quando in un settore industriale non è presente almeno un'impresa di tale entità gli indici elettrici nel settore, per ciascuna fonte energetica, risultano nulli. La stima dei consumi in settori di questo tipo deve essere fatta con indici che si avvicinano il più possibile alla situazione del settore nella provincia o comune considerati; questo significa ad esempio che non può essere usato l'indice elettrico del metano anche se questa fonte è di uso nel settore ma l'area geografica in questione non è raggiunta da questo servizio.

La costruzione di una tabella di indici elettrici per ciascuna provincia, per settori industriali degli anni precedenti, in particolare dal 1986 al 1991, mostra che la tendenza generale degli indici all'interno di uno stesso settore industriale, negli anni considerati, è circa costante. Questa osservazione è utile

per la proiezione degli indici elettrici in quei settori in cui mancano ma esistono negli anni precedenti a quello considerato. La proiezione per ogni fonte energetica avviene considerando una media degli indici specifici negli anni precedenti. L'uso di questo tipo di proiezione di indici presuppone anche l'assunzione che in una provincia, all'interno di uno stesso settore industriale, la situazione delle unità locali presenti non sia radicalmente cambiata in un periodo di tempo di cinque-sei anni.

Per quei settori in cui gli indici elettrici non possono essere recuperati con la proiezione sopra discussa si ricorre all'uso degli indici regionali. La natura fisica di questo indicatore è legata solo al rapporto tra energia termica ed energia elettrica per cui dipende dalle quantità e dal tipo di fonti impiegate in una produzione; l'impossibilità di stabilire legami che permettano una proiezione degli indici nei settori in cui mancano in relazione ad altre caratteristiche che non siano il tipo di energia, induce ad usare valori di un livello di aggregazione territoriale maggiore e che quindi risulteranno più generici.

Il calcolo degli indici elettrici specifici regionali, indicati con $RIES_{ih}$ $i = 1, \dots, 23$, $h = 1, \dots, 9$, si ottiene per ciascuna fonte e settore industriale come:

$$RIES_{ih} = \frac{\sum_{k=1}^9 CAL_{kih} * 4,186 / 3600}{\sum_{k=1}^9 EL.ISP_{ki}}$$

Stabilito il calcolo degli indici elettrici in tutte le situazioni, si possono stimare i consumi energetici di ciascuna fonte usandoli come coefficienti di proporzionalità dei consumi elettrici di ciascun comune e provincia in ogni settore industriale.

3.5 Analisi "what-if" e generazione di scenari

Uno dei vantaggi dei GIS rispetto ai sistemi per la cartografia automatizzata è quello che essi costituiscono validi strumenti di rappresentazione di modelli

del mondo reale e di studio di processi ambientali, tali da prevedere tendenze future o conseguenze per la verifica di determinate ipotesi.

Con un GIS infatti, facendo variare i parametri di alcune condizioni si può prevedere il risultato sullo scenario rappresentato.

Per quanto riguarda i consumi energetici industriali un esempio di questo tipo di operazione può essere quello di supporre che accada una nuova crisi nel Golfo Persico, che abbia come effetto finale, per le nazioni dipendenti dai loro rifornimenti petroliferi, un dimezzamento delle quantità di petrolio disponibili. E' lecito chiedersi quali comuni saranno più colpiti dal manifestarsi di questa condizione.

La risposta a questa domanda è lo studio della composizione percentuale del consumo termico di ciascun comune della Toscana.

Usando quindi gli overlays relativi ai consumi energetici di ciascuna fonte calcolati per ogni comune, è calcolato il totale di consumo in chilowattora termici rispetto alle fonti energetiche derivate dal petrolio, quali olio combustibile, gasolio, distillati e gpl; il peso che tale consumo ha all'interno del consumo termico totale è dato da:

$$\frac{\sum_{i=1}^{23} \sum_{\text{prod. petr.}} \text{consumo}_{c_k k i h} * \text{PCI}}{\sum_{i=1}^{23} \sum_{h=1}^9 \text{consumo}_{c_k k i h} * \text{PCI}}$$

E' ovvio che più questo rapporto si avvicina a uno, più il comune a cui si riferisce risente il dimezzamento dei rifornimenti dovuto alla crisi.

Un'opportuna tematizzazione dei pesi ottenuti oppure del relativo valore percentuale su tutti i comuni mette in risalto quali conseguenze sul sistema produttivo toscano può indurre l'eventuale verifica dell'ipotesi fatta.

4 STRUMENTI PER LA REALIZZAZIONE DELL' APPLICAZIONE

Dal punto di vista dell'utente, un Geographic Information System risulta un sistema del tutto simile ad un sistema di gestione per basi di dati, che offre in più funzionalità dedicate all'elaborazione grafica. La principale differenza tra

un GIS ed un SGDB sta quindi nella gestione dell'informazione spaziale che permette la visualizzazione grafica su schermo anche della parte non spaziale dell'informazione.

Un GIS è l'integrazione della tecnologia delle basi di dati, che è necessaria per strutturare la grande quantità di informazione e per la sua analisi e delle tecniche di computer graphics per la resa visiva. Le principali funzionalità richieste ad un GIS sono quindi un sistema di gestione per basi di dati ed un modulo che fornisca tutte le routines grafiche necessarie, quali la possibilità di potersi muovere in qualsiasi zona della mappa aprendo finestre su tutta la base di dati geografica, operazioni come il picking, lo zoom e l'uso di attributi grafici nella visualizzazione del disegno che permettono di evidenziare ogni volta gli aspetti più importanti dell'informazione non spaziale coadiuvati dalla presenza di legende.

Alla luce di questo abbiamo scelto di realizzare l'applicazione, per compiere le operazioni discusse sopra, attraverso l'uso di due strumenti, quali un sistema di gestione per basi di dati relazionale, il DBASEIV, per la memorizzazione e trattamento dei dati sui consumi energetici, e SDMS, Spatial Data Management System, per la gestione di dati spaziali per la costruzione della base di dati geografica e quindi per la realizzazione delle mappe tematiche.

4.1 Il sistema di informazione geografica: SDMS

SDMS è un database grafico in cui le informazioni non spaziali sono collegate direttamente alle entità grafiche rendendole disponibili attraverso semplici operazioni di selezione a video.

SDMS offre quattro tipi di primitive geografiche:

- punti;
- linee (segmenti con due estremi);
- polilinee (spezzate con più vertici);
- poligoni (polilinee chiuse);

ognuna delle quali viene utilizzata per rappresentare entità del mondo reale riconducibili ad esse (un punto può rappresentare un'antenna, una casa, un nodo su una rete di distribuzione, ecc., una polilinea può rappresentare un tratto di una rete lineare come tubazioni, ferrovie, strade, un confine, ecc., un poligono rappresenta tipicamente un'area).

L'organizzazione delle primitive grafiche avviene attraverso *piani informativi*. Il piano informativo è il concetto fondamentale di SDMS perché definisce la struttura della base di dati e l'organizzazione di questo sistema che possiamo considerare ad overlays. Un piano informativo costituisce un database composto da elementi tra loro omogenei sia dal punto di vista dell'informazione non spaziale, cioè caratterizzati dallo stesso record di attributi, che dal punto di vista della caratteristica spaziale, poiché rappresentati dallo stesso tipo di entità grafica.

Una situazione del mondo reale può essere rappresentata da più di un piano informativo, quindi l'insieme dei piani costituisce il database geografico e la sovrapposizione di questi determina a video l'immagine completa della realtà rappresentata.

Qualsiasi applicazione in SDMS inizia con la definizione della struttura del database quindi con la definizione dei piani; tra gli applicativi di SDMS, GENERATE serve proprio per tale scopo. Ogni piano informativo viene generato indipendentemente da ogni altro eseguendo i seguenti passi:

1. Definizione del nome.
2. Definizione del tipo del piano; questa scelta determina l'entità grafica supportata dal piano e quindi la caratteristica spaziale degli oggetti che dovrà contenere.
3. Definizione delle coordinate; oltre alle coordinate posizionali è possibile definire fino a due altezze, una per la profondità ed una per l'elevazione.
4. Definizione della dimensione della mappa; permette di definire la grandezza degli archivi della base di dati con riflessi sulla velocità di accesso ai dati.
5. Definizione dei campi necessari per la memorizzazione degli attributi; in questo passo viene definito il record del database, quindi il numero di campi necessari per gli attributi collegabili alle entità grafiche memorizzate dal piano. Per ogni campo viene definito il tipo di informazione che deve contenere e può essere:
 - booleano;
 - numerico; intero, reale con diverse precisioni;
 - stringa;
 - lista di opzioni;

- relazione; in questo campo vengono inseriti valori in relazione a quelli contenuti in altri piani. Nella definizione di questo campo possono essere definite fino a tre chiavi di ricerca.

Oltre al tipo per ogni campo possono essere definite altre caratteristiche che possono riguardare le proprietà del testo per l'emissione a video degli attributi, il collegamento con un'immagine digitalizzata, ed in relazione alle entità grafiche rappresentate dal piano, la lunghezza e pendenza delle linee o la superficie. Si definisce inoltre il tipo di accesso ai dati, se lettura e scrittura o sola lettura e le maschere a video e di stampa per determinare la posizione dei dati sul dispositivo di emissione.

Dopo la definizione dei piani informativi necessari all'applicazione si passa all'ingresso dei dati; SDMS gestisce i dati in modo che un solo piano alla volta è attivo e quindi l'immissione avviene ogni volta in un solo piano. L'ingresso dei dati può avvenire tramite digitalizzatore, con il quale vengono inserite le coordinate geografiche delle entità ed il centroide, che serve per identificarle; gli attributi vengono inseriti dopo la digitalizzazione. I dati possono essere immessi digitando le coordinate in successione (in relazione all'entità supportata dal piano, durante l'ingresso delle coordinate SDMS collega la penultima coordinata immessa con quella che si sta immettendo; è necessario quindi inserire le coordinate di una polilinea o di un poligono secondo un ordine, orario o antiorario, che ne determini la ricostruzione della struttura da parte del sistema) oppure con il mouse, inserendo per ultimo il centroide; dopo questo viene richiesto l'inserimento in ogni campo del record che è stato definito per quel piano.

Ulteriori modalità di inserimento dei dati fanno uso di importazione; ad esempio la presenza dell'applicativo D2S-ITA permette l'importazione di file in formato DXF, un'altro modo di importare i dati è il formato ASCII conforme alle caratteristiche richieste da SDMS stesso; sono inoltre previsti moduli di importazione da database esterni.

SDMS offre quasi tutti i tipi di operazioni grafiche che possono essere richieste per manipolare una situazione spaziale, la possibilità di visualizzare immagini a diverse scale, operazione come lo scrolling, ottenute spostando il centro dello schermo, ed altre; sono possibili diversi modi di selezionare entità dal database, dal picking usando il mouse, alla selezione all'interno di particolari finestre poligonali o circolari, oppure si possono selezionare entità

usando filtri impostati dall'utente per ogni campo. L'informazione contenuta nella base di dati può essere acceduta, modificata (è possibile modificare il contenuto dei campi del record oppure la struttura spaziale di ciascuna entità presente) e le ricerche possono coinvolgere più piani informativi contemporaneamente; il sistema offre anche funzionalità per avere una visione tridimensionale del terreno ed ottenere rappresentazioni tramite curve di livello. L'uscita dei dati è prevista sia su plotter, per la parte grafica dell'informazione, che su stampante.

Lo scopo principale di questo pacchetto software è la visualizzazione degli attributi non spaziali tramite tematismi; si possono infatti tematizzare proprietà grafiche come linee di contorno e riempimenti con tratti, tramature o colori diversi. La presentazione dei dati per mezzo di tematismi è immediatamente visualizzabile sul monitor grafico e disponibile per il plottaggio, arricchita di legende per la completa e facile identificazione degli attributi collegati alle entità grafiche.

5. I RISULTATI

L'elaborazione dei dati con i due pacchetti software citati è stata svolta elaborando la parte non spaziale delle informazioni, quindi tutte le analisi discusse nei paragrafi precedenti, con il database relazionale e la parte spaziale con SDMS.

La parte spaziale dei dati a disposizione è strettamente legata all'aggregazione territoriale a cui essi sono relativi; per i dati messi a disposizione dall'Ispettorato del Lavoro la parte spaziale è rappresentata dai confini provinciali, mentre per i dati dell'ENEL dai limiti comunali.

Comuni e province sono rappresentati in un GIS tramite le entità poligoni, ai centroidi dei quali sono associati il nome della provincia, o del comune e della provincia ed i valori stimati pronti per la tematizzazione. I dati sui limiti comunali sono ottenuti tramite digitalizzazione di una mappa dei comuni della Toscana. I limiti delle province invece sono ricostruiti da quelli comunali utilizzando le polilinee dei comuni di confine di ciascuna provincia.

Il collegamento delle due componenti delle informazioni è avvenuta tramite un identificatore univoco, che in relazione all'aggregazione territoriale dei dati ogni volta considerati è il codice ISTAT del comune o della provincia.

TAVOLA 1

Consumi Elettrici Totali
(Migliaia di kWh)

1 - 1000

1001 - 10000

10001 - 50000

50001 - 100000

100001 - 500000

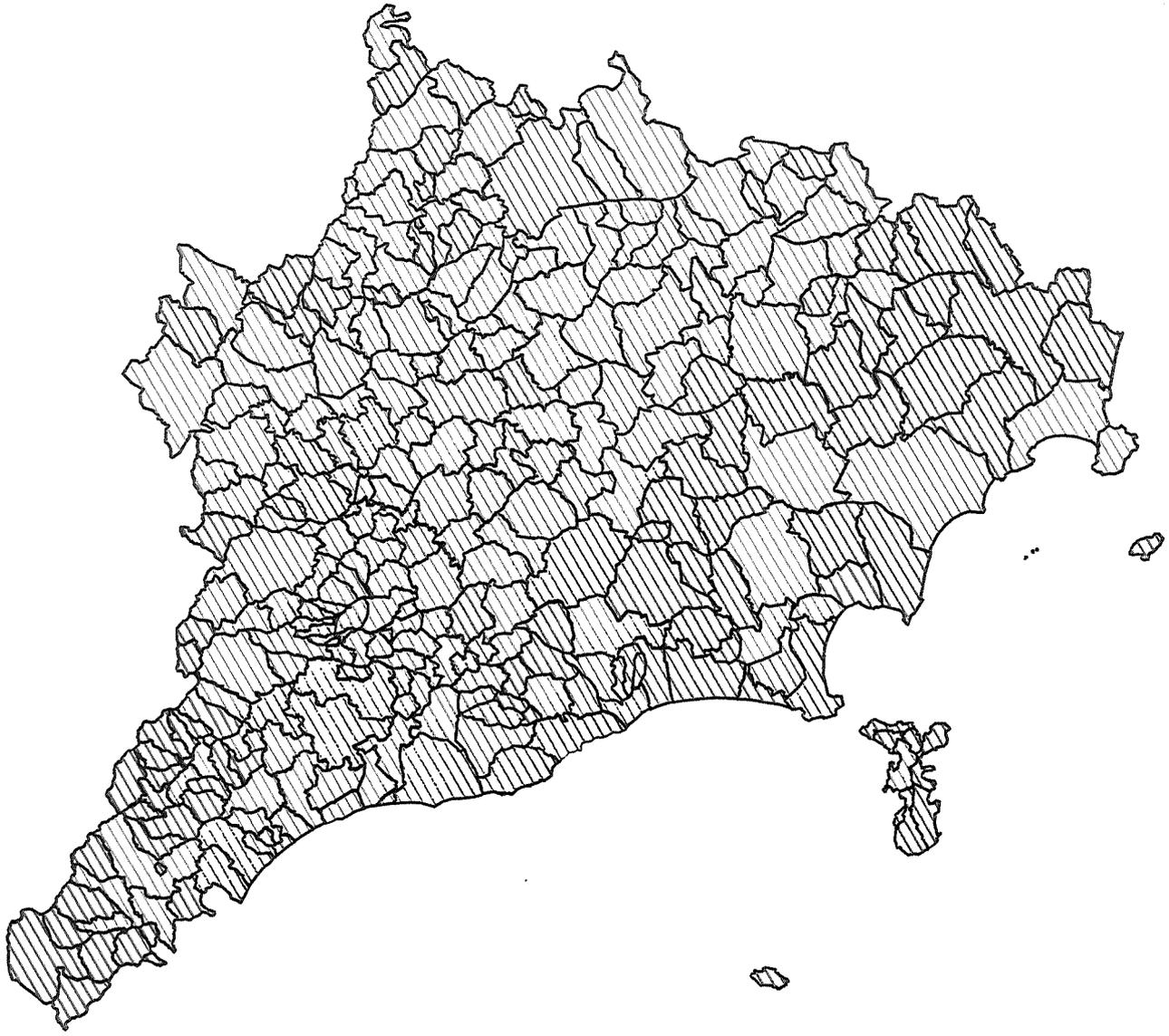


TAVOLA 2

Rapporto tra Consumi Elettrici

Rilevati da ENEL e ISPLAV

0.00 - 1.00

1.00 - 2.00

2.00 - 3.00

3.00 - 4.00

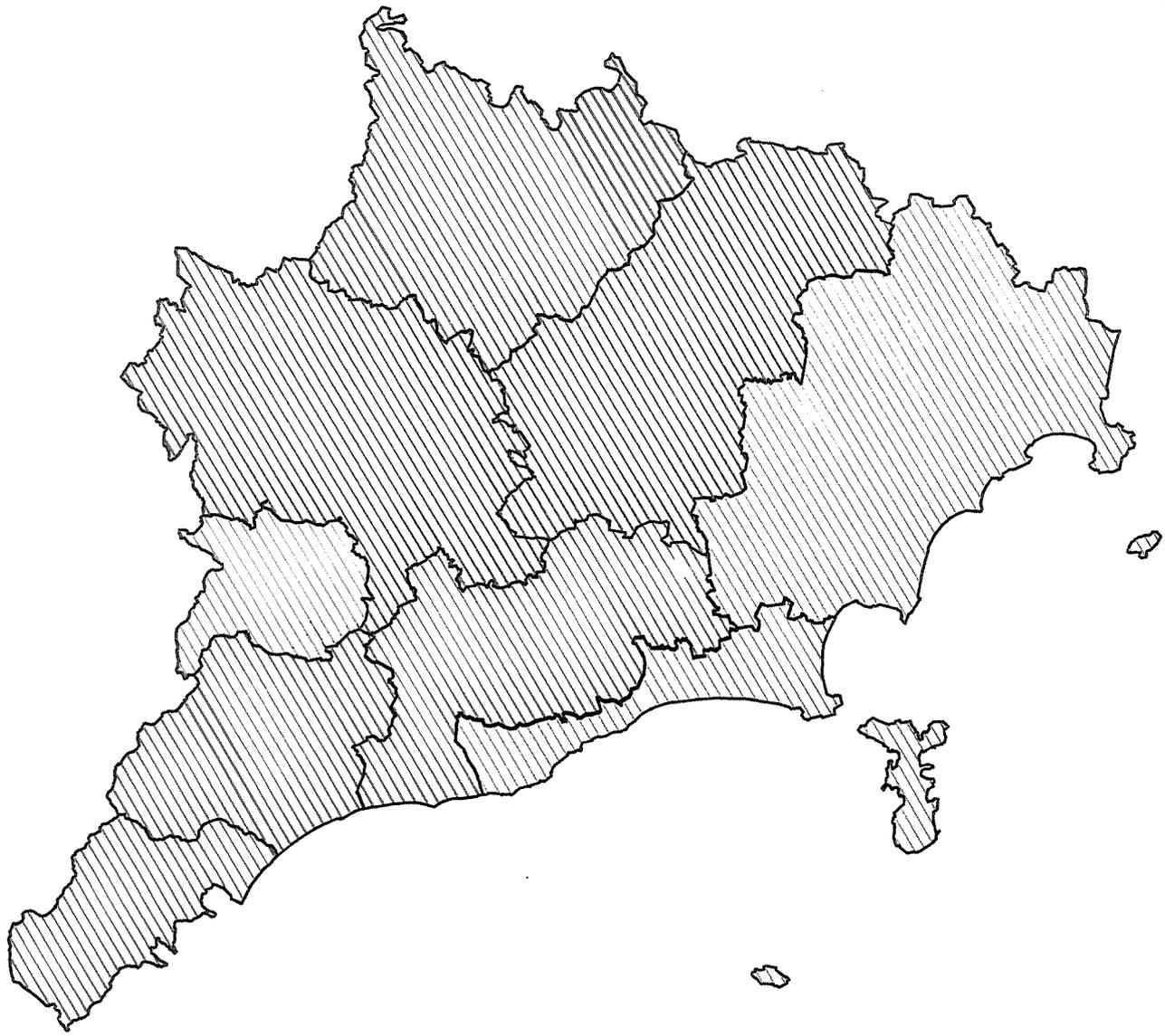


TAVOLA 3

Distribuzione Percentuale Delle
Industrie Con Più di 50 Addetti

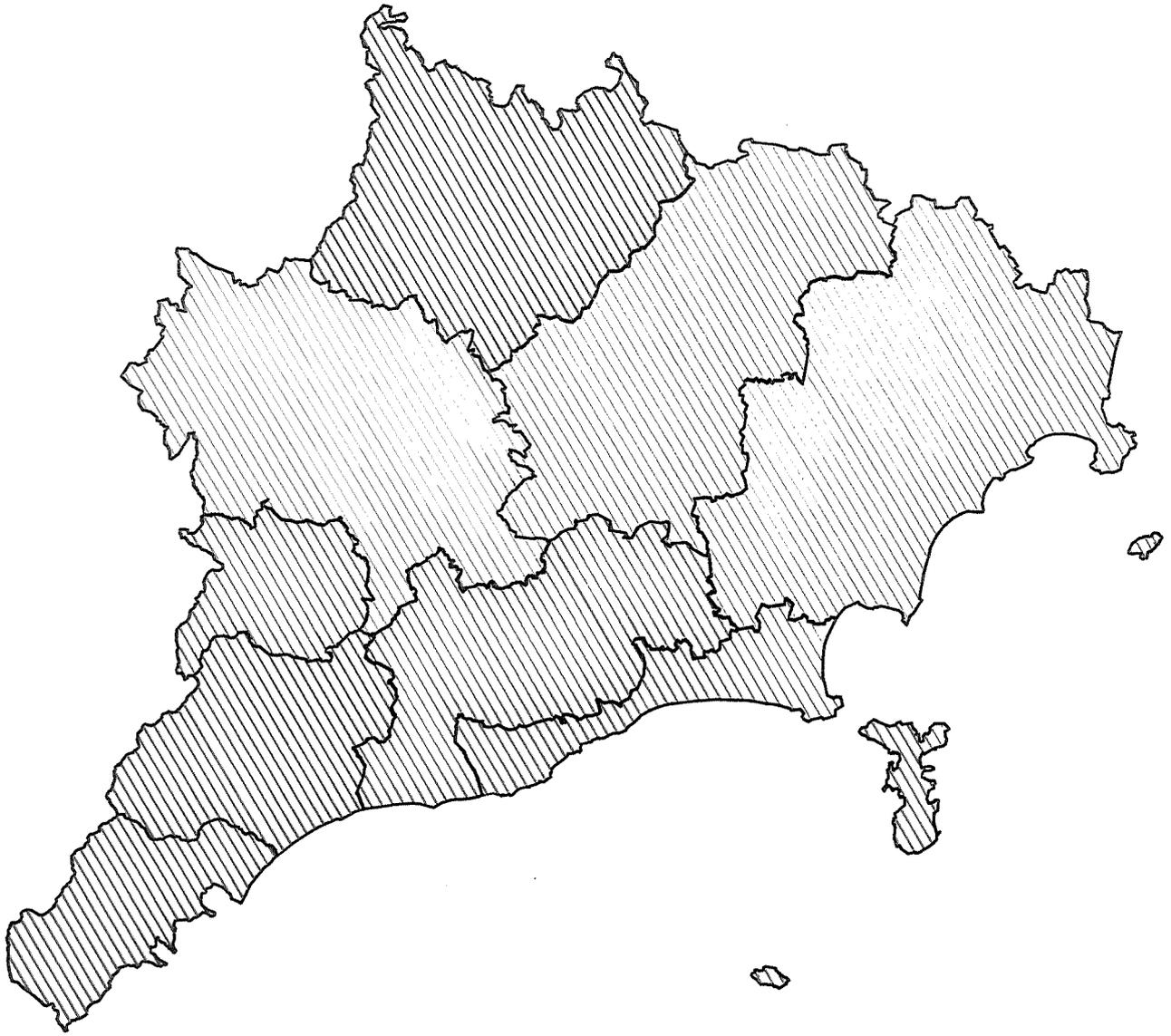
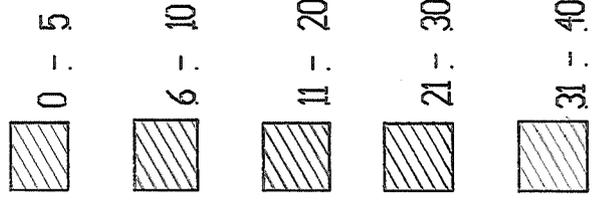


TAVOLA 4

Tipologia Industriale

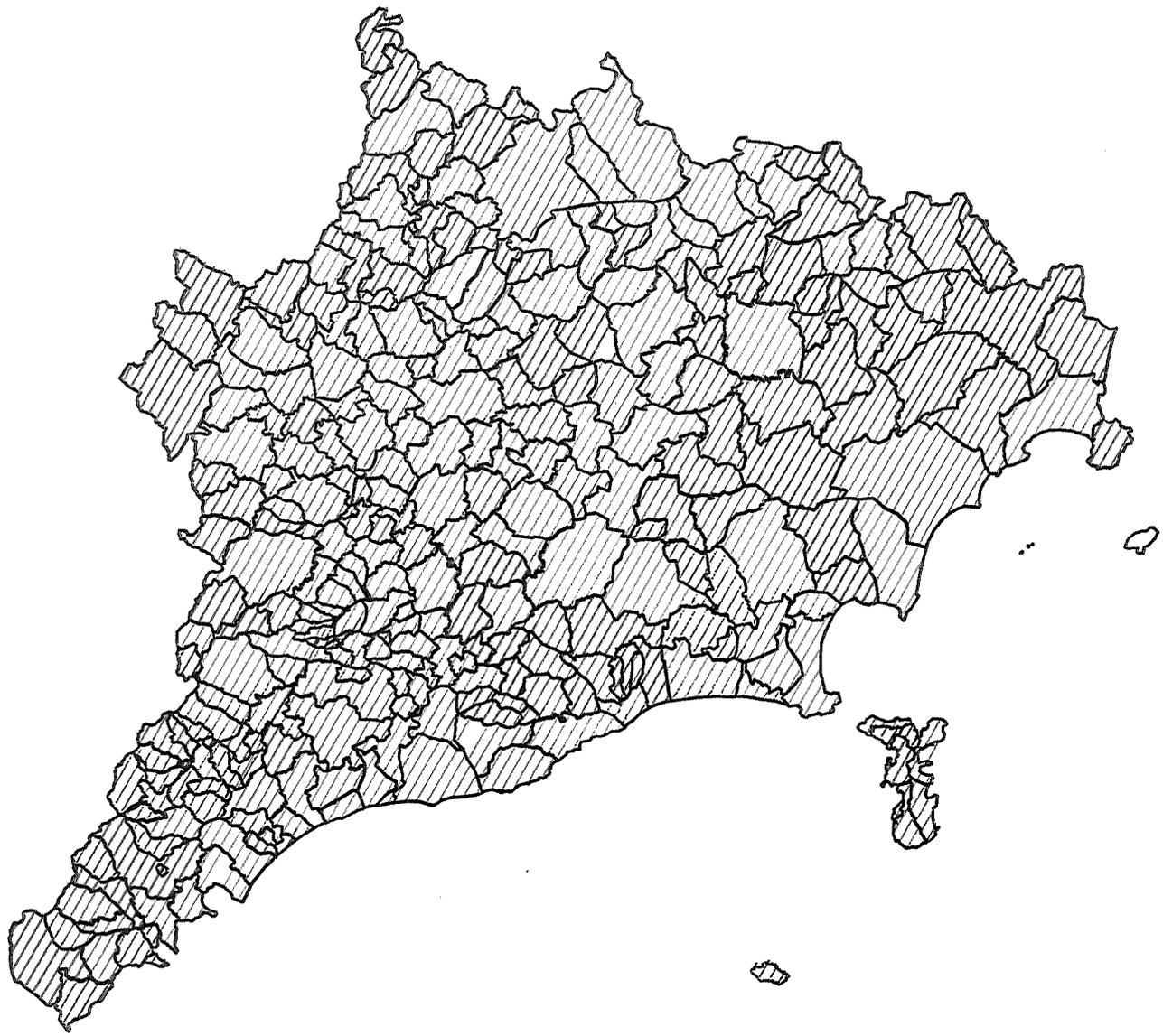
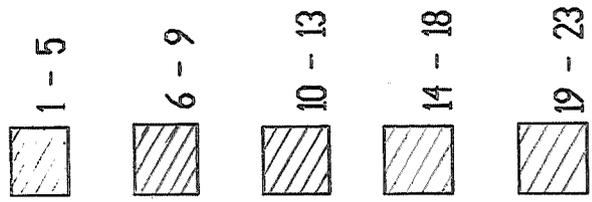


TAVOLA 5

Evoluzione Temporale del Rapporto

tra Consumo Elettrico

e Consumo Termico (1991, 1984)

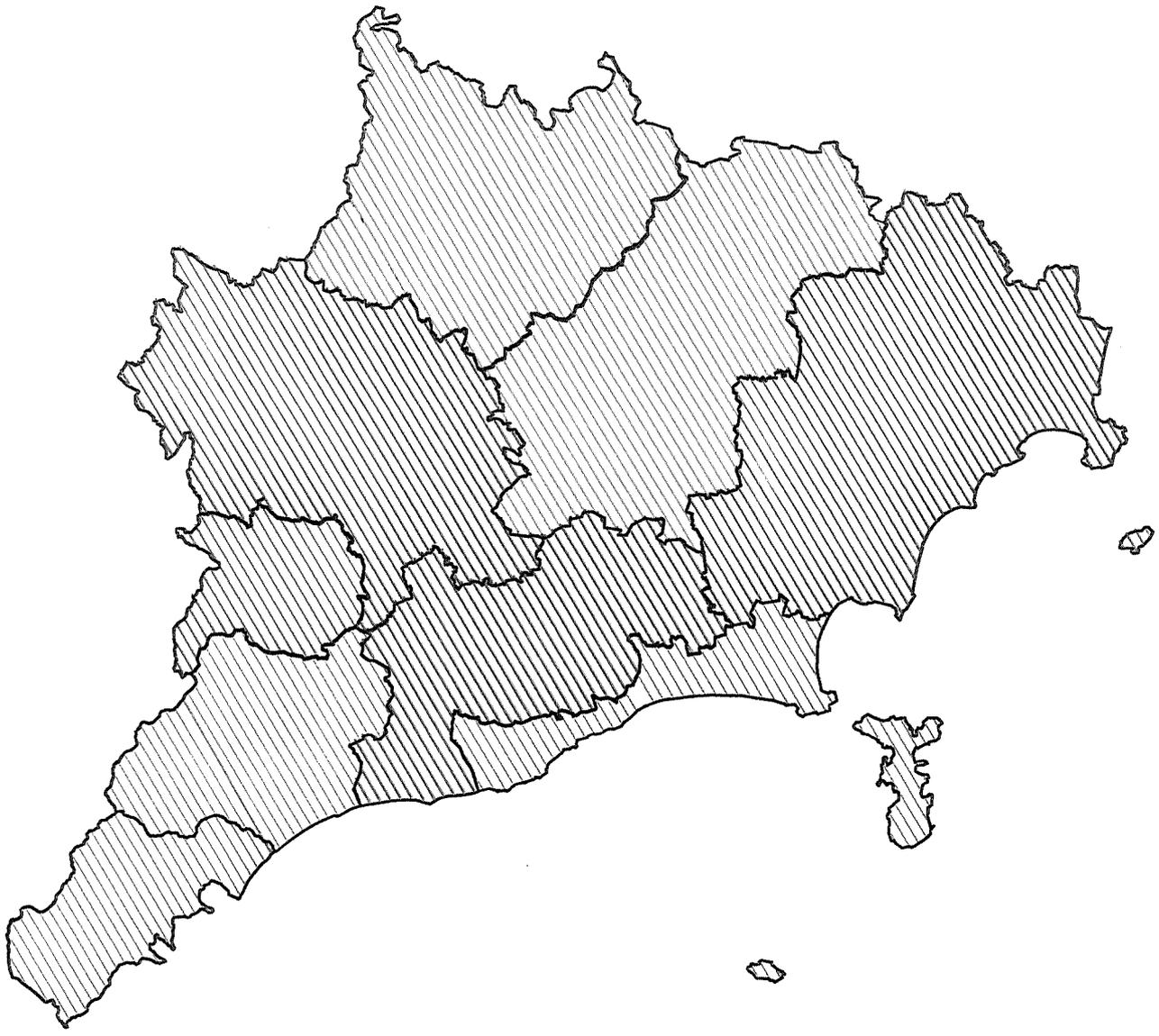
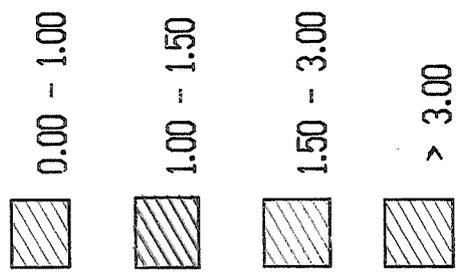


TAVOLA 6

Consumo di Olio Combustibile (kg)
nel Settore Industriale 2



1 - 1000

1001 - 100000

100001 - 1000000

1000001 - 50000000

> 50000000

TAVOLA 6.1

**Consumi di Metano (migliaia di mc)
nel Settore Industriale Meccanica**



0 - 1

1 - 10

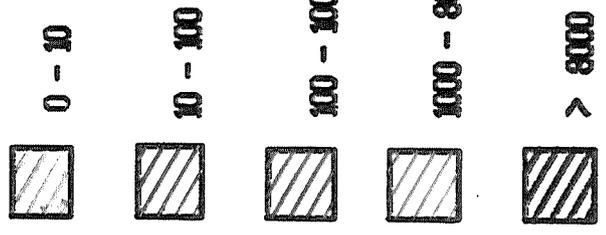
10 - 100

100 - 6000

> 6000

TAVOLA 6.2

**Consumi di Metano (migliaia di mc)
nel Settore Industriale Finitore**



TAOLA 7

Distribuzione Percentuale del
Consumo Energetico
di Derivati del Petrolio

